

**ANALISIS TINGKAT RADIOAKTIVITAS AIR DAN
TANAMAN PANGAN DI DAERAH KABUPATEN MAMUJU**



Skripsi

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Sarjana
Sains Jurusan Fisika Pada Fakultas Sains Dan Teknologi UIN
Alauddin Makassar

OLEH :

A. KAUTSAR SYAH K.
NIM. 60400114063

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI ALAUDDIN MAKASSAR

2018

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Mahasiswa yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A. Kautsar Syah K.

NIM : 60400114063.

Tempat/Tgl. Lahir : Kendari, 30 Desember 1996.

Jur/Prodi/Konsentrasi : Fisika

Fakultas/Program : Sains dan Teknologi

Alamat : Jl. Karya, Kec. Binamu, Kab. Jeneponto.

Judul : Analisis tingkat Radioaktivitas air dan tanaman pangan di
Daerah Kabupaten Mamuju.

Menyatakan dengan sesungguhnya dan penuh kesadaran bahwa skripsi ini adalah hasil karya sendiri. Jika dikemudian hari terbukti bahwa ia merupakan duplikat, tiruan, plagiat atau dibuat oleh orang lain, sebagian atau seluruhnya, maka skripsi dan gelar yang diperoleh karenanya batal demi hukum.

Yogyakarta, 02 November 2018

Penyusun,

A. Kautsar Syah K.

NIM: 60400114063

SUR AT PERSETUJUAN SEMINAR HASIL SKRIPSI**Kepada**

YTH. Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Alauddin Makassar

Assalamualaikum Wr. Wb

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara :

Nama : AHMAD KAUTSAR SYAH


Nim : 60400114063

Judul : Analisis Tingkat Radioaktivitas Air Dan Tanaman Pangan Di Kabupaten Mamuju

Sudah dapat diajukan kepada jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi untuk diseminarkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

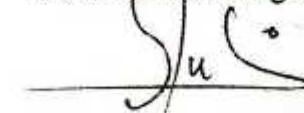
Samata, 6 November 2018

Dosen Pembimbing I



ISWADI, S.Pd., M.Si
NIP: 19830310 200604 1 002

Dosen Pembimbing II



Sri Zelviani, S.Si, M.Sc
NIP: 19880515 201503 2 004

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi yang berjudul, "**Analisis Tingkat Radioaktivitas Air dan Tanaman Pangan di Daerah Kabupaten Mamuju**", yang disusun oleh **A. Kautsar Syah K**, NIM: 60400114063, mahasiswa Jurusan Fisika pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, telah diuji dan dipertahankan dalam sidang *munaqasyah* yang diselenggarakan pada hari **Senin**, tanggal **19 November 2018 M**, bertepatan dengan 11 Rabi'ul Awwal 1440 H, dinyatakan telah dapat diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dalam Ilmu Sains dan Teknologi, Jurusan Fisika (dengan beberapa perbaikan).^{*}

Gowa, 19 November 2018
11 Rabi'ul Awwal 1440 H

DEWAN PENGUJI

Ketua	: Dr. Wasilah, S.T., M.T.	(.....)
Sekretaris	: Ihsan, S.Pd., M.Si.	(.....)
Munaqisy I	: Sahara, S.Si., M.Sc., Ph.D.	(.....)
Munaqisy II	: Dr. M. Thahir Maloko, M.Hl.	(.....)
Pembimbing I	: Iswadi, S.Pd., M.Si.	(.....)
Pembimbing II	: Sri Zelviani, S.Si., M.Sc.	(.....)

Diketahui oleh:
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Alauddin Makassar,

Prof. Dr. H. Arifuddin, M.Ag.
NIP. 19691205 199303 1 001

SURAT PERSETUJUAN SEMINAR MUNAQASYAH

Kepada

Yth. Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Alauddin Makassar

Assalamualaikum wr. Wb.

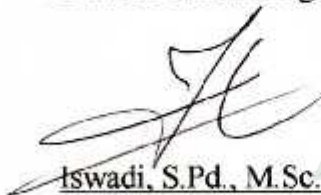
Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa proposal skripsi saudara :

Nama	: A. Kautsar Syah K.
NIM	: 60400114063
Judul Proposal	: Analisis tingkat radioaktivitas air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju.

Sudah dapat diajukan kepada Jurusan Fisika Fak. Sains dan Teknologi untuk diseminarkan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terima kasih.

Gowa, 15 November 2018

Dosen Pembimbing I



Iswadi, S.Pd., M.Sc.
NIP.19830310 200604 1 002

Dosen Pembimbing II



Sri Zelviani S.Si., M.Sc.
NIP. 19880515 201503 2 004

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahillabbi'l'amin, Penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah swt. karena atas segala limpahan rahmat dan karunia serta inayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Analisis tingkat Radioaktivitas air dan tanaman pangan di Daerah Kabupaten Mamuju**” dengan tepat waktu. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw, beserta keluarga, para sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman. Semoga syafaat dikaruniakan kepada kita semua, Aamiin.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tuanya yaitu **Ir. Kamaluddin R. M.Si.** dan **Astati K.** yang tidak henti-hentinya memberikan kasih sayang yang tulus dan mendo'akan kesuksesan serta kebahagiaan penulis sehingga penulis mampu melewati semuanya seperti sekarang ini.

Penulis juga ingin berterimakasih kepada Bapak **Iswadi S.Pd.,M.Si.** selaku dosen pembimbing 1 yang telah meluangkan waktunya untuk mendengarkan pendapat penulis serta memberikan ilmu yang bermanfaat dan saran-saran yang membangun motivasi membimbing, mengarahkan penulis dari awal hingga akhir. Penulis juga berterima kasih kepada Ibu **Sri Zelviani, S.Si., M.Sc.** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu disela-sela kesibukannya untuk mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan

skripsi dari awal sampai akhir. Kemudian penulis juga sangat berterima kasih kepada Ibu **Jasmi Budi Utami, M.Eng** selaku pembimbing di BATAN yang telah banyak memberikan ilmu dan arahan selama penelitian di BATAN . Dan tak lupa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Siswanti, S.ST.** selaku pembimbing lapangan yang banyak memberikan pengalaman dan pelajaran yang sangat berarti sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian selama di BATAN.

Alhamdulillah setelah melalui perjuangan panjang dengan berbagai kendala akhirnya penulis mampu melewatinya. Skripsi ini disusun sebagai syarat mengikuti seminar hasil penelitian. Skripsi ini tidak dapat selesai dengan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Musafir, M.Si** sebagai Rektor UIN Alauddin Makassar periode 2015–2020 yang telah andil andil dalam membangun UIN Alauddin Makassar dan memberikan berbagai fasilitas guna kelancaran studi mahasiswa UIN Alauddin Makassar.
2. Bapak **Edy Giri Rachman Putra, Ph.D.** selaku Plt. Kepala PSTA-BATAN Yogyakarta.
3. Bapak **Prof. Dr. Arifuddin, M.Ag** sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar periode 2015-2019.
4. Bapak **Ir.Gede Sutresna Wijaya, M.Eng** selaku Kepala Bidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi PSTA-BATAN.

5. Ibu **Sahara S.Si., M.Sc., P.hD.** sebagai ketua jurusan Sekaligus penguji I yang membantu penulis dalam masa studinya.
6. Bapak **Ihsan, S.Pd., M.Si** sebagai sekertaris jurusan Fisika yang senantiasa memberikan kritikan dan motivasi demi perbaikan skripsi ini.
7. Bapak **Dr. M Thahir Maloko, M.Hi** selaku wakil dekan II Fakultas Sains dan Teknologi sekaligus sebagai penguji II yang senantiasa memberikan kritik dan motivasi demi perbaikan skripsi ini.
8. Seluruh bapak/ibu Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan arahan dan motivasi serta membantu peneliti selama masa studi.
9. Civitas Akademik yang telah banyak membantu demi kelancaran proses studi peneliti.
10. Seluruh bapak/ibu staff dan pekerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta karena telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian.
11. Teman-teman sekampung saya, **Affandi M, Hendrawan S., Muh. Guntur, Muh. Ichsan, Muh. Ferial, Muh joko, Surya adi Salam dan Junaedi S.** yang selalu menjadi motivator pada penelitian ini.
12. Teman-teman seperjuangan **Alfian, Arwin Darwis, Dzulqadri Imran, Syaifuddin, Anto, Ismail, Muh. Iqram, Zainuddin, Leis David, Binsar, Ashar, Wenni Amiruddin S, Sry Titi Wardani, Rekawaty, Ulfi Hidayatul Nuraeni, Nurul Amalia, Riska, Nurlaela, Ima Muntaha.**
13. Teman-teman angkatan 2014 (Inersia).

14. Kakak-kakak dan adik-adik di jurusan fisika.
15. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan banyak terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua orang yang telah berjasa selama penulis menempuh pendidikan di UIN Alauddin Makassar sehingga tidak muat bila dicantumkan semua dalam lembaran sekecil ini. Penulis meminta maaf kepada mereka yang namanya tidak sempat penulis sebutkan tanpa terkecuali,

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi penyempurnaan skripsi. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi penulis khususnya dan dapat menambah wawasan bagi para pembaca.

Yogyakarta, 02 November 2018

Penulis,

A. Kautsar Syah K.

NIM : 60400114063

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN INSTANSI.....	iv
KATA PENGANTAR	v-viii
DAFTAR ISI.....	ix-x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii-xiv
ABSTRAK	xv-xvi
BAB I PENDAHULUAN	1-6
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN TEORETIS	7-26
2.1 Radioaktivitas	7
2.2 Unsur Radioaktif	8
2.3 Sumber-sumber Radiasi.....	11
2.4 Dampak Radioaktif terhadap lingkungan	16
2.5 Spektrometer Gamma.....	17
2.6 LBC (<i>Low Background Counter</i>)	21
2.7 Lokasi Penelitian	24
BAB III METODE PENELITIAN	27-57
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Prosedur Penelitian	29
3.4 Evaluasi Data	30
3.5 Diagram Alir.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58-73
4.1 Analisis Gross Beta	58

4.2 Analisis Radionuklida.....	64
BAB V PENUTUP.....	74-75
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76-80
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	L1-L40



ABSTRAK

Nama : A. Kautsar Syah K.

Nim : 60400114063

Judul : Analisis tingkat Radioaktivitas air dan tanaman pangan di Daerah Kabupaten Mamuju

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat radioaktivitas air dan tanaman pangan di Kabupaten Mamuju dan membandingkannya dengan aktivitas air dan tanaman pangan di sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY).

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode pencacahan dan identifikasi yaitu mengidentifikasi radionuklida alam yang terkandung dalam sampel sesuai deret Uranium dan Thorium. Alat yang digunakan adalah LBC (*Low Background Counter*) dan Spektrometer Gamma.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Aktivitas beta total pada sampel air dan tanaman pangan di Kabupaten Mamuju tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan aktivitas air dan tanaman pangan di sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY). Sedangkan, adanya perbedaan yang signifikan aktivitas radionuklida pemancar gamma pada sampel air dan tanaman pangan di Kabupaten Mamuju dengan daerah sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY). Aktivitas radioaktif air di Kabupaten Mamuju masih di bawah batas yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No.7 tahun 2017. Hasil Radioaktivitas tertinggi terdapat di wilayah Takandeang.

Kata Kunci : Radioaktivitas, Radionuklida alam, air, tanaman pangan, Mamuju, KNY

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
MAKASSAR

ABSTRACT

Name : A. Kautsar Syah K.

Nim : 60400114063

Title : Analysis of the level of radioactivity in water and crops in Mamuju Regency

This Research purpose is to determine the level of radioactivity of water and crops in Mamuju Regency and compare it with water and food crop activities around the Yogyakarta Nuclear Area (KNY).

The Measurements were made using the enumeration and identification method, by identifying radionuclides on sample's according to the Uranium and Thorium series. The tools used are LBC (Low Background Counter) and Gamma Spectrometry.

The results showed that: total beta activity in water samples and food crops in Mamuju District did not show a significant difference with the activity of water and food crops around the Yogyakarta Nuclear Area (KNY). Whereas, there are significant differences in gamma transmitter radionuclide activity in water samples and food crops in Mamuju Regency with the area around the Yogyakarta Nuclear Area (KNY). The radioactive activity of water in Mamuju Regency is still below the limit set by BAPETEN PERKA No.7 of 2017. The highest radioactivity results are in the Takandeang region.

Keywords : Radioactivity, natural radionuclides, water, crops, Mamuju, KNY

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R

DAFTAR TABEL

No.	Keterangan Tabel	Halaman
2.1	Karakteristik Partikel	10
2.2	Dosis efektif tahunan rata-rata yang diterima penduduk dunia	12
2.3	Radionuklida Jatuhan (<i>Fallout</i>) pada lingkungan	17
4.1	Hasil Pengukuran Aktivitas Beta pada sampel Air	59
4.2	Hasil pengukuran Laju Paparan Eksternal di Kabupaten Mamuju	59
4.3	Hasil pengukuran Aktivitas Beta pada sampel air di sekitar KNY	61
4.4	Hasil Pengukuran Aktivitas Beta pada sampel tanaman	62
4.5	Hasil pengukuran Aktivitas Beta total pada sampel tanaman pangan (Ubi kayu) di sekitar KNY	63
4.6	Konsentrasi Radionuklida pada sampel air di Kabupaten Mamuju	65
4.7	Konsentrasi Radionuklida pada sampel tanaman pangan di Kabupaten Mamuju	70
4.8	Konsentrasi Radionuklida pada sampel tanaman pangan di sekitar KNY	72

DAFTAR GAMBAR

No.	Keterangan Gambar	Halaman
2.1	Ilustrasi Reaksi Partikel Dari Suatu Sumber Radioaktif	9
2.2	Ilustrasi jalur paparan radiasi alamiah yang masuk ke tubuh manusia	13
2.3	Alat Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge	18
2.4	Diagram alir seperangkat Spektrometer Gamma	20
2.5	Alat LBC (<i>Low Background Counter</i>)	21
2.6	Diagram alir LBC Pencacah <i>Geiger-Muller</i>	24
2.7	Peta laju dosis Radiasi Gamma lingkungan Indonesia	25
3.1	Garis besar metode pengujian menggunakan alat LBC	56
3.2	Garis besar metode pengujian menggunakan Spektrometer gamma	57
4.1	Kurva kalibrasi Efisiensi menggunakan sumber standar Eu-152	64
4.2	Kurva kalibrasi Efisiensi menggunakan sumber standar Eu-152 dan IAEA 373	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap orang yang tinggal di dunia selalu menerima radiasi baik yang berasal dari sumber radiasi alamiah maupun sumber radiasi buatan. Radiasi alamiah berasal dari kerak bumi (Thoron-220) dan radiasi sinar kosmik (Carbon-14). Radiasi buatan berasal dari radionuklida hasil kegiatan manusia, misalnya berasal dari hasil pembelahan inti (reaksi fisi dalam reaktor nuklir). Radiasi yang dimaksud adalah radiasi pengion, yaitu radiasi yang dapat menimbulkan ionisasi, apabila radiasi tersebut menumbuk suatu bahan. Radiasi pengion, yang selanjutnya disebut irradiasi, seperti partikel alfa (α), beta (β), sinar gamma, sinar-X dan neutron masing-masing memiliki daya tembus dan pengionan yang berbeda (Sutarman, 2010).

Materi radioaktif memancarkan radiasi pengion karena inti yang tidak stabil dan inti atom zat radioaktif akan meluruh untuk mencapai kestabilan. Inti atom yang belum stabil ini disebut dengan radionuklida/radioisotop. Apabila Radionuklida masuk ke dalam tubuh manusia maka akan menyebabkan kerusakan pada tubuh secara langsung (deterministik) maupun secara tidak langsung (stokastik). Efek deterministik terjadi apabila melewati dosis tertentu yang disebut dengan dosis ambang. Efek ini dapat menyebabkan kematian pada sel yang disebabkan radikal bebas yang dihasilkan ketika radiasi mengionisasi sel. Selain itu, radikal bebas juga dapat mengubah susunan molekul-molekul penting dalam

sel seperti DNA yang dapat menyebabkan efek biologis yang merugikan seperti kanker dan kelainan genetika lainnya (efek stokastik).

Ada beberapa tempat di dunia ini yang memiliki tingkat radiasi dari kerak bumi yang sangat tinggi tetapi tingkat insiden orang terkena kanker rendah, misalnya: Pocos de Caldas, Brazil, Guarapari, Brazil, Kerala & Tamil Nadu, India dan Ramsar, Iran. Anomali radiasi tersebut dapat terjadi dimana saja, bergantung pada formasi geologi batuan setempat. Untuk mengetahui ada tidaknya anomali radiasi alam di Indonesia, maka BATAN telah melakukan pengukuran radiasi alam diseluruh wilayah Indonesia dan menghasilkan suatu peta radiasi di Indonesia. Diperoleh hasil bahwa terdapat anomali radiasi alam di Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat (Moekhamad Alfiyan, 2016).

Pada penelitian sebelumnya menunjukkan konsentrasi gas thoron ($Rn-220$) di daerah Mamuju memiliki konsentrasi gas rata-rata harian yang mencapai nilai $758,65 \text{ Bq/m}^3$. Hasil pengukuran tersebut melebihi ambang batas yang telah ditetapkan oleh Perka BAPETEN No. 2 tahun 1999 sebesar 400 Bq/m^3 untuk gas Thoron di udara. Konsentrasi gas Thoron pada udara terbuka tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu. Pengukuran Radioaktivitas dilakukan dengan metode RAD7, yang merupakan detektor radon yang dilapisi oleh konduktor listrik yang di pusatnya terdapat solid state, ion implantasi, detektor alpha silikon (semikonduktor) yang berfungsi untuk mengkonversi radiasi alpha secara langsung ke sinyal listrik (Annisa, dkk., 2016). Temuan secara lebih detil di Kabupaten Mamuju ditemukan di Desa Takkandeang, dengan laju dosis radiasi mencapai 2.844 nSv/jam , dan beberapa titik ditemukan di lokasi tersebut dengan

laju dosis 2.250 dan 2.200 nSv/jam, jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata laju dosis radiasi di Pulau Jawa sekitar 25 – 50 nSv/jam. Secara umum lengan selatan Mandala Geologi Sulawesi Barat hingga bagian tengah, memiliki laju dosis radiasi yang lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya di Pulau Sulawesi, dan tidak menerus ke arah utara. Lokasi lain yang memiliki tingkat laju dosis radiasi yang relatif tinggi ditemukan di Kabupaten Mamasa dengan laju dosis radiasi 250 nSv/jam. Kondisi laju dosis radiasi tersebut tentunya merupakan implikasi dari kondisi geologi baik di permukaan maupun tataan tektonik secara regional (Syaeful dkk., 2014).

Radiasi alamiah yang berasal dari kerak bumi dan sinar kosmik dapat sampai ke tubuh manusia melalui berbagai media seperti udara, air dan bahan makanan. Radionuklida alamiah yang berasal dari deret Uranium dan Thorium, seperti ^{210}Pb dan ^{210}Po banyak terkandung di dalam berbagai sampel lingkungan (udara, air, dan bahan makanan). Radionuklida ^{40}K sangat banyak terkandung di dalam bahan makanan (Sutarman, 2010). Zat radioaktif tersebut dapat masuk ke tubuh manusia melalui jalur pernapasan, pencernaan maupun penyerapan oleh kulit. Gas Radon (^{222}Rn) adalah Radionuklida yang berasal dari dalam bumi anak luruh ^{226}Ra yang berasal dari ^{238}U sebagai induknya. Gas Radon dapat lepas ke udara dan mengganggu pernapasan dengan risiko kanker paru-paru (Sutarman, 2010). Selain itu zat radioaktif yang terdispersi dalam udara dapat bercampur dengan air hujan kemudian masuk ke dalam tanah dan air permukaan. Zat radioaktif tersebut terakumulasi di tanaman dan hewan yang dapat masuk ke tubuh manusia melalui proses rantai makanan. Penelitian yang dilakukan Moekhamad Alfiyan pada tahun

2016 menunjukkan tingkat Radioaktivitas pada tanah di daerah Mamuju sangat tinggi. Aktivitas Th-232 dalam sampel tanah di beberapa lokasi berkisar 489,56-2909,31 Bq/Kg melampaui batas yang tercantum di BSS-115 (*Basic Safety Standar*) yaitu 1000 Bq/Kg. Mengingat bahwa laju paparan radiasi di Mamuju melebihi *action level* dan radioaktivitas tanah di Mamuju melebihi Kadar Tertinggi yang Diizinkan (KTD) di lingkungan, ada kemungkinan aktivitas pada sampel air dan tanaman pangan juga tinggi. Maka penelitian ini mengambil sampel yang dapat berpengaruh terhadap manusia seperti air dan tanaman pangan. Kadar Tertinggi yang Diizinkan (KTD) pada sampel lingkungan seperti air berbeda-beda tergantung radiasi, radionuklida dan jenis airnya, maka sampel air yang diambil adalah air permukaan yang tidak dikonsumsi manusia dan mata air yang diolah PAM. Sampel tanaman yang diambil adalah tanaman pangan yang paling banyak ditemukan di lokasi yang telah ditentukan seperti ubi kayu.

Dari uraian di atas, penulis melakukan penelitian dengan judul analisis tingkat radioaktivitas air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju. Pengukuran sampel dilakukan secara tidak langsung, menggunakan alat *LBC* (*Low Background Counter*) dan Spektrometer Gamma untuk mengetahui aktivitas radionuklida alamiah dan radioisotop yang terdapat pada sampel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat Radioaktivitas beta total pada sampel air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju khususnya di Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga?

2. Bagaimana konsentrasi aktivitas Radionuklida pada sampel air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju khususnya di Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga?
3. Bagaimanakah perbandingan tingkat Radioaktivitas beta total pada sampel air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju dengan daerah sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui tingkat Radioaktivitas beta total pada sampel air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju khususnya di Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga.
2. Mengetahui konsentrasi aktivitas Radionuklida pada sampel air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju khususnya di Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga.
3. Membandingkan tingkat Radioaktivitas beta total pada sampel air dan tanaman pangan di daerah Kabupaten Mamuju dengan daerah sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY).

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Guna untuk menghasilkan kapasitas penelitian yang baik, maka lingkup pembahasan yang akan diteliti adalah :

1. Penelitian ini mengambil sampel ditiga titik, yaitu di Desa Takandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga di Kabupaten Mamuju.

2. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah air minum, air permukaan dan ubi kayu.
3. Penelitian ini mengukur Radioaktivitas dan Radionuklida pada setiap sampel.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat

Untuk memberikan informasi kepada publik bahwa di alam juga terdapat zat radioaktif, mengetahui distribusi zat radioaktif di lingkungan dan informasi yang terkait mengenai sumber radiasi eksternal maupun internal kepada masyarakat.

2. Bagi mahasiswa

Sebagai acuan untuk menyelesaikan program S1 dan menambah pengetahuan tentang radioaktif.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Radioaktivitas

Zat radioaktif adalah zat yang mengandung inti yang tidak stabil. Ketidakstabilan inti ini disebabkan perbandingan proton dan neutronnya tidak sama dengan 1:1 sehingga unsur tersebut secara spontan akan melepaskan satu atau lebih partikel dalam proses perubahan menjadi atom baru yang lebih stabil. Zat radioaktif pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895, ia menemukan pancaran sinar yang menyebabkan fluoresensi ketika arus elektron menumbuk suatu partikel tertentu, yang kemudian dinamakan sinar-X. Selanjutnya pada tahun 1898, pasangan suami istri Marie Curie dan Pierre Curie berhasil mengisolasi dua isotop yang terbentuk dari peluruhan uranium yang dinamakan polonium. Pada tahun 1903, Ernest Rutherford menemukan dua jenis sinar yang berbeda muatan yang dipancarkan oleh zat radioaktif, yaitu sinar alfa (bermuatan positif), sinar beta (bermuatan negatif) dan sinar gamma (Wikipedia, *Zat Radioaktif*, 2018).

Disadari atau tidak, penduduk dunia selalu mendapat radiasi yang berasal dari radiasi alam (*natural radiation*) dan buatan manusia (*artificial man-made radiation*). Sumber radiasi alam berasal dari ruang angkasa, seperti radiasi matahari dan bintang-bintang, serta radiasi kosmik. Beberapa radionuklida kosmik, seperti ^{22}Na , ^{14}C , ^3H , dan ^7Be yang disebut sebagai radionuklida kosmogenik. Sumber radiasi yang berasal dari dalam bumi (kerak bumi) berasal dari deret uranium (^{238}U), deret thorium (^{232}Th), deret aktinium (^{235}U) dan kalium-40 (^{40}K). Radionuklida tersebut disebut radionuklida primordial. Sumber radiasi

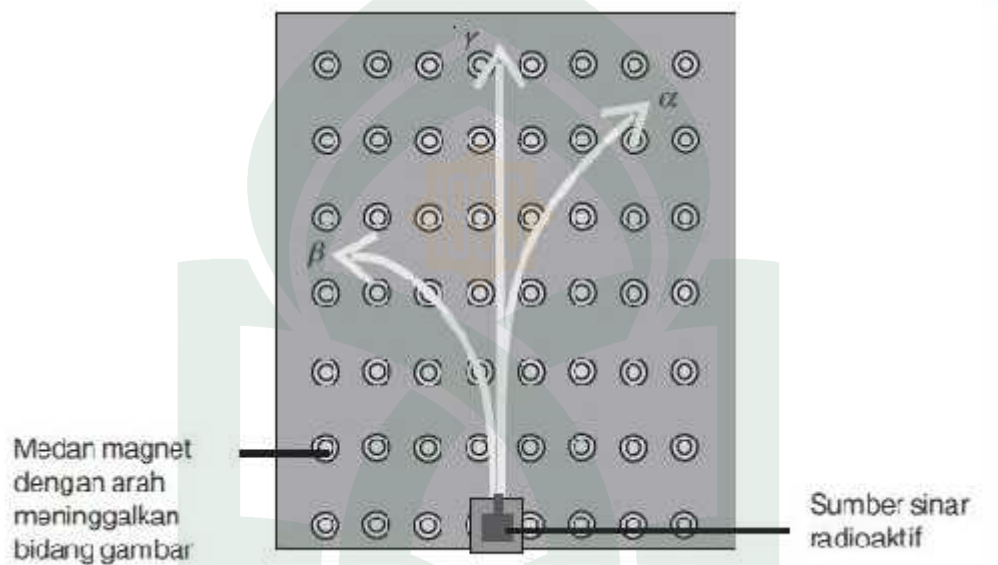
buatan manusia, seperti yang berasal dari kegiatan medik, percobaan-percobaan senjata nuklir, dan industri-industri yang menggunakan bahan nuklir atau zat radioaktif. Gas radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn) paling dominan dan sangat potensial yang berasal dari radionuklida primordial. Radiasi yang diterima penduduk dunia paling besar berasal dari radiasi radon sekitar 53 % dan thoron sekitar 4 %. Kedua radionuklida tersebut merupakan gas mulia yang bersifat radioaktif yang mudah terlepas ke lingkungan melalui patahan lapisan tanah atau batu-batuan, melalui aliran air tanah, dan berbagai bahan bangunan. Oleh karena itu kedua radionuklida tersebut dapat memberikan dampak radiologik kepada manusia, terutama pada saluran pernapasan (Sutarman, 2010).

2.2 Unsur Radioaktif

Pada tahun 1895 W.C. Rontgen melakukan percobaan dengan sinar katode. Ia menemukan bahwa tabung sinar katoda menghasilkan suatu radiasi berdaya tembus besar yang dapat menghitamkan film foto. Selanjutnya sinar itu diberi nama sinar X. Sinar X tidak mengandung elektron, tetapi merupakan gelombang elektromagnetik. Sinar X tidak dibelokkan oleh bidang magnet, serta memiliki panjang gelombang yang lebih pendek daripada panjang gelombang cahaya. Berdasarkan hasil penelitian W.C Rontgen tersebut, maka Henry Becquerel pada tahun 1896 bermaksud menyelidiki sinar X, tetapi secara kebetulan ia menemukan gejala keradioaktifan. Pada penelitiannya ia menemukan bahwa garam-garam uranium dapat menghitamkan film foto meskipun ditutup rapat dengan kertas hitam. Menurut Becquerel, hal ini karena garam-garam

uranium tersebut dapat memancarkan suatu sinar dengan spontan. Peristiwa ini dinamakan radioaktivitas spontan (Iswadi, 2012).

Proses peluruhan radioaktif secara spontan selalu berlangsung dalam salah satu proses diantara tiga proses, yaitu peluruhan alfa, peluruhan beta atau peluruhan gamma. Ilustrasi reaksi ketiga partikel diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 : Ilustrasi reaksi partikel dari suatu sumber radioaktif, Sumber : Iswadi, 2012.

Ilustrasi di atas menggambarkan arah setiap jenis partikel yang dihasilkan dari reaksi suatu sampel radioaktif dalam medan magnet. Medan magnet mengarah keluar kertas, tampak bahwa partikel beta (β) mengalami pembelokan arah yang sangat besar, sedangkan partikel alfa (α) mengalami penyimpangan yang lebih kecil. Hal berbeda ditunjukkan oleh partikel gamma (γ), medan magnet sama sekali tidak memberikan pengaruh terhadap arah partikel gamma yang tidak bermuatan. Gaya yang menyebabkan partikel bermuatan mengalami pembelokan

dalam medan magnet disebut dengan gaya lorentz (Iswadi, 2012). Karakteristik ketiga jenis partikel diberikan oleh tabel berikut :

Tabel 2.1 : karakteristik partikel

Partikel	Simbol	Muatan	Daya Tembus	Daya Ionisasi	Potensi bahaya paparan
Alfa		Positif 2 (He)	Rendah	Tinggi	Internal
Beta		Negatif ($-$) Positif ($+$)	Sedang (dapat menembus logam Al)	Sedang	Internal Eksternal
Gamma		-	Tinggi	Rendah	Eksternal

Sumber : Iswadi, 2012

Tercipta dari reaksi peluruhan apapun, setiap partikel akan tetap berkelakuan sesuai dengan karakteristiknya masing-masing. Karakteristik setiap jenis partikel tersebut memperlihatkan sebuah keteraturan hal ini seakan-akan menunjukkan bahwa setiap partikel telah ditetapkan atau diatur kelakuan atau takdirnya. Hal ini sesuai dengan Firman Allah swt. dalam QS. az-zumar/39:62,

اللَّهُ خَالِقُ كُلِّ شَيْءٍ وَهُوَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ وَكِيلٌ

Terjemah-Nya :

“Allah menciptakan segala sesuatu dan Dia memelihara segala sesuatu”
(Departemen Agama RI, 2010).

Dalam tafsir *ibnu-katsir* ayat di atas menjelaskan bahwa Allah swt. memberitahukan bahwa Dialah yang yang menciptakan segala sesuatu semuanya, Dialah yang menguasai, memiliki dan mengaturnya. Segala sesuatu berada di bawah pengawasan, pengaturan dan tunduk pada perintahnya. Karakteristik dari

setiap partikel radiasi sudah ditentukan ketetapanannya oleh Allah swt. tidak peduli lingkungan atau sistem dimana partikel itu berada.

2.3 Sumber-Sumber Radiasi

Setiap orang di dunia selalu menerima sebagian besar radiasi berasal dari sumber radiasi alamiah. Menurut laporan UNSCEAR (2000), penduduk dunia menerima dosis radiasi efektif tahunan rata-rata sebesar 2,8 mSv yang berasal dari radiasi alamiah 2,4 mSv dan dari sumber radiasi buatan 0,4 mSv. Radiasi alamiah terjadi secara terus menerus dan sulit untuk dikendalikan, sedangkan radiasi buatan lebih mudah untuk dikendalikan dan terjadi hanya pada suatu saat saja (Sutarman, 2010).

A. Radiasi Alamiah

Radiasi sinar kosmik berasal dari matahari dan luar angkasa lainnya yang dapat menembus lapisan atmosfer bumi sampai ke permukaan bumi. Radiasi sinar kosmik yang diterima penduduk dunia di bumi bergantung pada letak lintang geografi dan tinggi tempat. Penduduk yang bertempat tinggal di daerah lintang tinggi ($30 - 60^0$) menerima laju dosis radiasi efektif lebih tinggi dibandingkan dengan penduduk yang bertempat tinggal di daerah lintang rendah ($0 - 30^0$). Para awak pesawat dan pilot akan menerima dosis tahunan relatif tinggi dibandingkan orang-orang yang tinggal di bumi. Peneliti dari Jerman melaporkan telah melakukan pengukuran radiasi gamma dan neutron dengan menempatkan dosimeter di sejumlah pesawat. Hasil dari pengamatannya menyatakan bahwa waktu terbang 600 jam pada ketinggian 10.000 meter memberikan laju dosis sekitar 3 mSv/tahun. Pada ketinggian 18.000 meter memberikan laju dosis sekitar

0,15 mSv/jam. Menurut laporan UNSCEAR (1988), dosis rata-rata yang diterima oleh awak pesawat yang melakukan penerbangan selama 4 tahun sekitar 2,5 mSv/tahun, dengan kemungkinan menerima laju dosis maksimum sekitar 15 mSv/tahun (Sutarman, 2010).

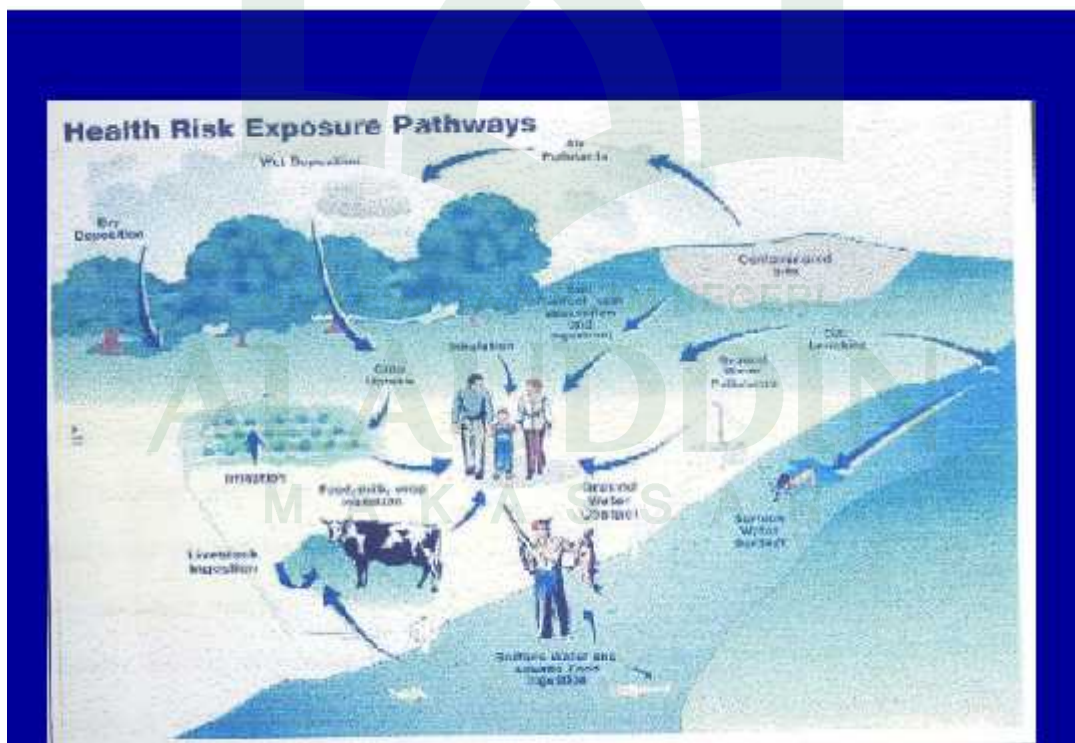
Hasil berbagai reaksi nuklir sinar kosmik di dalam atmosfer, biosfer, dan litosfer adalah merupakan radionuklida kosmogenik, yang meliputi ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , dan beberapa radionuklida kosmogenik lain yang waktu paronya pendek (kurang dari 1 hari). Radionuklida tersebut pada suatu saat dapat terhirup masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan (inhalasi). Radionuklida ^{14}C memberikan dosis efektif tahunan yang cukup besar. Menurut laporan UNSCEAR (2000), dosis efektif tahunan radionuklida kosmogenik adalah 12 μSv untuk ^{14}C 0,15 μSv untuk ^{22}Na 0,01 μSv untuk ^3H , dan 0,03 μSv untuk ^7Be . Radionuklida ^3H dan ^{14}C perlu diperhatikan keberadaannya di lingkungan karena radionuklida tersebut juga dapat dihasilkan dari sumber radiasi buatan. Menurut UNSCEAR (2000), bahwa dosis efektif tahunan yang berasal dari radiasi kosmik berkisar dari 0,3 mSv sampai 1,0 mSv dengan rata-rata 0,4 mSv.

Tabel 2.2 : Dosis efektif tahunan rata-rata yang diterima penduduk dunia.

Sumber radiasi	Dosis radiasi efektif tahunan rata-rata (mSv)
Sumber radiasi alamiah	
• Kosmik	0,4
• Sinar gamma	0,5
• Interna	0,3
• Gas radon	1,2
Jumlah	2,4 mSv
Sumber radiasi buatan	
• Kegiatan medik (kedokteran)	0,1
• Uji coba bom nuklir di atmosfer	0,005
• Kecelakaan nuklir Chernobyl	0,002
• Pusat listrik tenaga nuklir (PLTN)	0,0002
Jumlah	0,4 mSv

Sumber : Sutarman, 2010

Radiasi gamma yang berasal dari sumber radiasi alamiah berasal dari radionuklida alam yang terkandung di dalam bahan bangunan dan tanah. Bahan bangunan yang biasa digunakan untuk rumah, seperti batu bata, semen, pasir, keramik, dan gipsum mengandung radionuklida alam dari deret uranium (^{238}U), thorium (^{232}Th), dan kalium-40 (^{40}K), yang berasal dari dalam bumi. Suatu daerah tertentu memberikan radiasi gamma cukup tinggi, karena tanahnya mengandung thorium dan radium (^{226}Ra). Menurut laporan UNSCEAR (2000), dosis efektif tahunan radiasi gamma yang diterima penduduk dunia yang berasal dari radiasi alamiah dari dalam bumi, berkisar dari 0,3 mSv sampai 0,6 mSv dengan rata-rata 0,5 mSv (Sutarman, 2010). Secara garis besar Radiasi alamiah yang masuk ke tubuh manusia diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 : Ilustrasi jalur paparan radiasi alamiah yang masuk ke tubuh manusia, Sumber : Pusdiklat Batan, 2018.

Radionuklida alam yang berasal dari tanah (Radionuklida primordial) sebagian besar adalah mineral logam seperti uranium (^{238}U dan ^{235}U) dan thorium (^{232}Th). Radionuklida alam dimanfaatkan oleh manusia dalam bidang ketenagalistrikan, medis, pertambangan, pertanian, peternakan dan kemiliteran. Pemanfaatan radionuklida alam sesuai dengan firman Allah swt. Dalam QS. al-hadiid/57:25,

.....

Terjemah-Nya :

.....“Dan kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan bermanfaat bagi manusia”..... (Departemen Agama RI, 2010).

Dalam tafsir *ibnu-katsir* ayat di atas menjelaskan bahwa Allah swt. menciptakan besi untuk menekan orang-orang yang menolak kebenaran dan menentangnya setelah hujjah disampaikan kepada mereka. Besi yang diciptakan oleh Allah swt. dapat dimanfaatkan dalam kehidupan manusia, seperti persenjataan, bahan membuat mata bajak, kampak, beliung, gergaji dan alat-alat bertenun, berladang, memasak, membuat roti dan apapun yang manusia tidak akan dapat beraktifitas kecuali dengan menggunakan alat tersebut. Allah swt. menciptakan logam tersebut agar kehidupan manusia dapat lebih baik. Logam yang berasal dari bumi seperti uranium dan thorium menghasilkan energi nuklir yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh manusia.

B. Radiasi Buatan

Radiasi buatan dihasilkan dari kegiatan manusia, seperti kegiatan medik, percobaan nuklir, pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Kegiatan tersebut akan menghasilkan radionuklida hasil belah inti (fisi), seperti ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{95}Zr , dan ^{85}Kr , dan aktivasi seperti ^{60}Co , ^{14}C , dan ^{14}N , transuranik dapat menghasilkan ^{239}Pu . Seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.2 bahwa dosis radiasi efektif tahunan rata-rata yang berasal dari sumber radiasi buatan yang diterima penduduk dunia jauh lebih rendah dibandingkan dengan dosis radiasi yang berasal dari sumber radiasi alamiah. Tidak seperti sumber radiasi alamiah, sumber radiasi buatan lebih mudah dikendalikan, karena sumber radiasi alamiah terjadi secara terus menerus dan sulit untuk dikendalikan, walaupun demikian penyebarannya ke lingkungan perlu diawasi dengan cara pemantauan lingkungan (Sutarman, 2010).

Radiasi medik merupakan radiasi yang sengaja diberikan kepada manusia (pasien) untuk keperluan pemeriksaan (diagnostik) dan pengobatan (terapi) baik dilakukan secara radiasi eksternal maupun internal. Dosis radiasi yang berasal dari kegiatan medik merupakan dosis radiasi tertinggi (0,4 mSV/tahun) di antara dosis radiasi yang berasal dari sumber radiasi buatan. Selain pemanfaatan sinar-X yang berasal dari pesawat pembangkit, seperti sinar X, CT-Scan, dan Akselerator, kini telah dikembangkan pemanfaatan teknik nuklir untuk kegiatan medik (diagnostik dan terapi) dari radioisotop. Kegiatan medik untuk maksud diagnostik dapat menggunakan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ atau ^{131}I dan terapi dapat menggunakan ^{60}Co atau ^{137}Cs (Sutarman, 2010).

Dalam bidang kedokteran nuklir dikenal dua metode diagnostik, yaitu studi *in-vivo* dan *in-vitro*. Studi *in-vivo* didasarkan pada prinsip peruntukan, yaitu

memasukkan radioisotop ke dalam tubuh pasien, kemudian diikuti perjalanan radioisotop tersebut di dalam tubuh dengan detektor radiasi gamma yang berada di luar tubuh. Pada studi ini informasi medik yang diperoleh berupa gambar (citra) atau angka-angka atau dalam bentuk kurva. Radioisotop yang sering digunakan, antara lain ^{131}I untuk diagnostik kelenjar gondok dan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ untuk diagnostik ginjal, paru-paru, dan otak. Studi *in-vitro* didasarkan pemeriksaan pasien tanpa memasukkan radioisotop ke dalam tubuh manusia, tetapi pasien diambil contoh darah atau cairan dari biologi lain, misalnya keringat, darah atau urin. Contoh tersebut diproses dengan menggunakan teknik nuklir, seperti *radioimmuno assay* (RIA) dan *immunoradiometric assay* (IRMA) (Sutarman, 2010).

Uji coba bom nuklir di atmosfer telah dilakukan oleh beberapa negara maju, seperti Amerika Serikat, Rusia, Inggris, Perancis, dan Cina. Selama periode tahun 1945 sampai 1981 telah dilakukan 461 percobaan bom nuklir di atas tanah, di permukaan laut dan di bawah tanah dengan total energi sekitar 550 megaton TNT. Sementara bom atom yang dijatuhkan di kota Hiroshima dan Nagasaki (1945) hanya berkekuatan 15 dan 22 ribu ton TNT. Percobaan bom nuklir baik yang dilakukan di atas tanah, di permukaan laut dan di bawah tanah dapat menyebabkan sejumlah zat radionuklida hasil fisi, seperti ^{95}Zr , ^{137}Cs , ^{90}Sr , dan ^{14}C terangkat ke lapisan atmosfer dapat mencapai lapisan stratosfer (10-50 km). Karbon-14 dibentuk tidak secara langsung dari hasil fisi, tetapi dibentuk dari hasil aktivasi (interaksi nitrogen dengan neutron di atmosfer). Dalam waktu sekitar satu bulan radionuklida tersebut dapat jatuh ke bumi dan sering disebut sebagai radioaktif jatuhan (*fallout*) (Sutarman, 2010).

Radionuklida yang mempunyai waktu paro pendek, seperti ^{95}Zr (waktu paro 64 hari), dan ^{131}I dengan waktu paro 8 hari dalam beberapa minggu setelah ledakan akan lepas ke atmosfer terutama ^{131}I . Sementara radionuklida yang mempunyai waktu paro panjang, seperti ^{137}Cs (waktu paro 30 tahun) memancarkan partikel beta dan sinar gamma, ^{90}Sr (waktu paro 29 tahun) memancarkan partikel beta, dan ^{14}C (5730 tahun) bukan hasil fisi secara langsung yang terbentuk di atmosfer sebagai hasil tidak langsung sebagai pemancar partikel beta lemah. Ketiga radionuklida tersebut sampai sekarang masih dapat terdeteksi, karena mempunyai waktu paro panjang. Tabel 2.2 menunjukkan bahwa dosis radiasi efektif tahunan rata-rata yang diterima penduduk dunia akibat percobaan nuklir di atmosfer sekitar 0,005 mSv/tahun (Sutarman, 2010).

2.4 Dampak Radioaktif Terhadap Lingkungan

Radiasi latar (*background radiatori*) yang terdapat dalam suatu lingkungan bersumber dari paparan sinar matahari, peluruhan (*decay*) zat radioaktif yang terdapat di sekitarnya yang berasal dari kosmis dan unsur-unsur radioaktif alamiah yang terdapat di dalam bumi. Dengan demikian semua organisme hidup selalu menerima paparan radiasi latar yang berasal dari alami. Besarnya radiasi latar ini bervariasi dan bergantung pada tempat dan ketinggian. Semakin tinggi suatu tempat, semakin besar pula peranan radiasi kosmis. Radionuklida jatuhan yang terdapat pada lingkungan dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tidak semua bahaya dari suatu radiasi disebabkan oleh efek langsung radiasi itu sendiri. Adanya kemungkinan pembuangan sampah radioaktif yang kurang hati-hati atau kecelakaan dari suatu fasilitas nuklir dapat pula merusak

organisme di dalam suatu lingkungan yang selanjutnya dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem di lingkungan.

Tabel 2.3 : Radionuklida Jatuhan (*Fallout*) pada lingkungan

Media	Radionuklida
Udara	^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs
Air	^3H , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs
Fresh water and marine foodchain	^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{105}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{125}Sb , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{141}Ce , ^{144}Ce
Milk	^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs
Meat	^{134}Cs , ^{137}Cs
Vegetation	^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{105}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{125}Sb , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{141}Ce , ^{144}Ce
Soil	^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{242}Cm

Sumber : Pusdiklat Batan, 2018.

2.5 Spektrometer Gamma

Pengukuran radionuklida pemancar gamma relatif lebih mudah dari pada radionuklida pemancar alfa murni. Radionuklida pemancar gamma dapat diukur secara langsung dengan spektrometer gamma tanpa dilakukan pemisahan kimia terlebih dahulu. Radionuklida-radionuklida pemancar alfa yang dalam proses peluruhannya juga disertai radiasi gamma, maka dapat dideteksi secara langsung melalui radiasi gamma dari anak luruhnya tanpa melalui tahap pemisahan kimia. Perangkat spektrometer gamma secara sederhana dapat dipandang sebagai suatu

sistem alat ukur radiasi yang terdiri dari detektor, sistem penguat pulsa, sistem pengolah pulsa dan penyimpanan data. Interaksi sinar gamma dengan detektor menghasilkan sinyal pulsa yang tingginya sebanding dengan tenaga sinar gamma yang selanjutnya pulsa-pulsa tersebut diproses secara elektronik oleh sistem penguat dan pengolah pulsa sehingga diperoleh hasil akhir berupa suatu spektrum gamma pada layar monitor. Spektrum gamma yang diperoleh, selanjutnya dianalisis dengan perangkat lunak pada komputer. Dari hasil analisis puncak-puncak energi pada spektrum tersebut dapat diidentifikasi dan dihitung kadar radionuklida pemancar sinar gamma yang ada dalam sampel (Komalasari, 2016). alat Spektrometer Gamma diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 alat Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge.

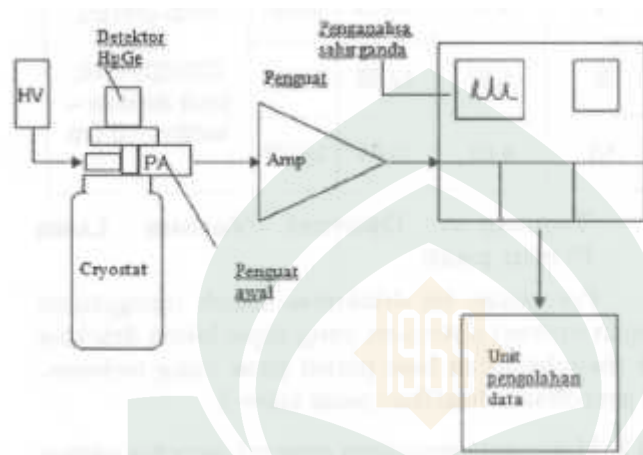
Berdasarkan bentuk fisiknya spektrometer gamma dapat dibedakan menjadi dua yaitu spektrometer gamma terpasang tetap (non portable) dan spektrometer gamma tak tetap atau mudah dibawa (portable). Dalam spektrometer gamma jenis non portable, komponen-komponen penyusun seperti detektor,

sistem penguat pulsa, sistem pengolah pulsa dan penyimpanan data dirangkai secara terpisah satu sama lain. Sedangkan dalam spektrometer gamma portable, semua komponen kecuali detektor sudah tersusun secara kompak berupa satu kesatuan sehingga dapat digunakan untuk pengukuran secara *in situ*.

Sinyal pulsa dari detektor sebagai hasil interaksi dengan sinar gamma sangat lemah sehingga perlu diperkuat dengan sistem penguat pulsa supaya menjadi pulsa yang dapat diamati. Sistem ini terdiri dari dua bagian yaitu penguat awal (*pre-amplifier*) dan penguat lanjut (*amplifier*). Penguat awal berfungsi memperbesar pulsa dari detektor secara linear. Perangkat dilengkapi dengan *Field Effect Transistor* yang mempunyai impedansi tinggi untuk menekan derau sekecil mungkin. Apabila derau tidak dapat ditekan sekecil-kecilnya maka pulsa yang keluar tidak lagi linear terhadap energi yang mengenai detektor. Kemudian hasil penguatan diperkuat kembali oleh penguat lanjut supaya dapat diolah oleh sistem pengolah pulsa. Penguat lanjut dilengkapi dengan rangkaian integrator dan differensiator untuk membentuk pulsa dari penguat awal.

Pulsa yang sudah diperkuat oleh sistem penguat dikirim ke rangkaian penganalisis salur ganda MCA (*Multi Channel Analyzer*). Pada rangkaian ini dilakukan pengukuran tingkat amplitudo pulsa secara kuantitatif dan menyimpannya dalam bentuk digital. Untuk itu MCA dilengkapi dengan perangkat *analog to digital converter* (ADC). Setiap pulsa disimpan dalam alamat-alamat saluran tertentu. Jumlah pulsa yang masuk ke alamat itu merupakan gambaran intensitas penyerapan yang kemudian tersaji dalam bentuk grafik spektrum pada layar monitor. Banyaknya cacahan dari masing-masing puncak

energi pada spektrum menunjukkan intensitas energi dan tanggapan detektor terhadap energi tersebut (Komalasari, 2016). Secara skematis seperangkat spektrometer gamma dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram alir seperangkat Spektrometer Gamma, Sumber : Agus 2013.

Jenis detektor spektrometer gamma yang digunakan adalah detektor semikonduktor-Ge. Detektor jenis ini mempunyai respon linear terhadap energi gamma dengan jangkauan yang cukup lebar, daya pisah (resolusi) energi tinggi, efisiensi tinggi dan cacahan latar rendah. Detektor semikonduktor Ge merupakan gabungan kristal Ge tipe-p dan tipe-n yang diberi medan listrik. Dengan datangnya foton gamma maka akan terbentuk pasangan-pasangan elektron dan lubang (*hole*) yang kemudian bergerak ke arah elektroda sehingga menghasilkan pulsa-pulsa listrik. Detektor semikonduktor Ge dioperasikan pada temperatur N_2 cair. Oleh karena itu detektor ini dilengkapi dengan dewar sebagai wadah N_2 cair untuk mendinginkan detektor (Komalasari, 2016).

2.6 LBC (*Low Background Counter*)

LBC (*Low Background Counter*) adalah alat pencacah radiasi beta total yang dapat menekan radiasi dari lingkungan (latar belakang). LBC biasa digunakan untuk pemantauan radioaktivitas lingkungan seperti air, udara, tanah dan rumput. LBC menggunakan detektor *Geiger Muller* untuk pencacahan sampel maupun latar belakang dan menampilkan pada indikator yang berupa data digital, dimana data tersebut menandakan banyaknya partikel radiasi. Pada kondisi tertentu, LBC dapat digunakan untuk mendeteksi radiasi gamma, walaupun tingkat reliabilitasnya kurang. LBC tidak bisa digunakan untuk mendeteksi neutron (Wikipedia, *Pencacah Geiger*, 2018). Alat LBC (*Low Background Counter*) dengan detektor *Geiger Muller* diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Alat LBC (*Low Background Counter*)

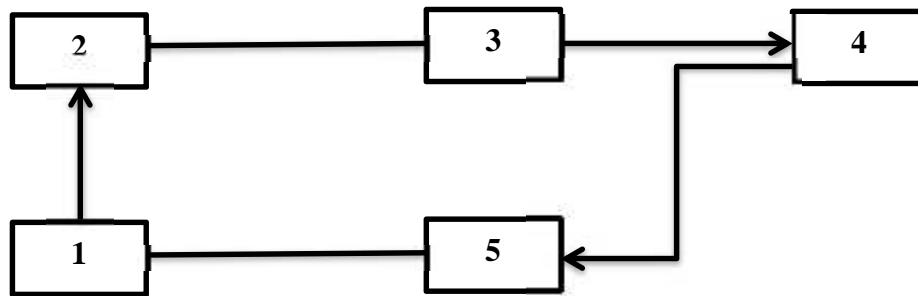
Detektor *Geiger Muller* merupakan salah satu detektor yang berisi gas. Selain *Geiger Muller* masih ada detektor lain yang merupakan detektor isian gas yaitu detektor ionisasi dan detektor proporsional. Ketiga macam detektor

tersebut secara garis besar prinsip kerjanya sama, yaitu sama-sama menggunakan medium gas. Perbedaannya hanya terletak pada tegangan yang diberikan pada masing-masing detektor tersebut. Apabila ke dalam tabung masuk zarah radiasi maka radiasi akan mengionisasi gas isian. Banyaknya pasangan elektron-ion yang terjadi pada detektor *Geiger Muller* tidak sebanding dengan tenaga zarah radiasi yang datang. Hasil ionisasi ini disebut elektron primer. Karena antara anode dan katode diberikan beda tegangan maka akan timbul medan listrik di antara kedua elektrode tersebut. Ion positif akan bergerak ke arah dinding tabung (katoda) dengan kecepatan yang relatif lebih lambat bila dibandingkan dengan elektron-elektron yang bergerak ke arah anoda (+) dengan cepat. Kecepatan gerakannya tergantung pada besarnya tegangan V . Sedangkan besarnya tenaga yang diperlukan untuk membentuk elektron dan ion tergantung pada macam gas yang digunakan. Dengan tenaga yang relatif tinggi maka elektron akan mampu mengionisasi atom-atom sekitarnya, sehingga menimbulkan pasangan elektron-ion sekunder. Pasangan elektron-ion sekunder inipun masih dapat menimbulkan pasangan elektron-ion tersier dan seterusnya, sehingga akan terjadi lucutan yang terus-menerus (*avalanche*) (Wikipedia, *Pencacah Geiger*, 2018).

Kalau tegangan V dinaikkan lebih tinggi lagi maka peristiwa pelucutan elektron sekunder atau *avalanche* makin besar dan elektron sekunder yang terbentuk makin banyak. Akibatnya, anoda diselubungi serta dilindungi oleh muatan negatif elektron, sehingga peristiwa ionisasi akan terhenti. Karena gerak ion positif ke dinding tabung (katoda) lambat, maka ion-ion ini dapat membentuk semacam lapisan pelindung positif pada permukaan dinding tabung. Keadaan

yang demikian tersebut dinamakan efek muatan ruang atau *space charge effect*. Tegangan yang menimbulkan efek muatan ruang adalah tegangan maksimum yang membatasi berkumpulnya elektron-elektron pada anoda. Dalam keadaan seperti ini detektor tidak peka lagi terhadap datangnya zarah radiasi. Oleh karena itu efek muatan ruang harus dihindari dengan menambah tegangan V. penambahan tegangan V dimaksudkan supaya terjadi pelepasan muatan pada anoda sehingga detektor dapat bekerja normal kembali. Pelepasan muatan dapat terjadi karena elektron mendapat tambahan tenaga kinetik akibat penambahan tegangan V (Wikipedia, *Pencacah Geiger*, 2018).

Apabila tegangan dinaikkan terus menerus, pelucutan elektron yang terjadi semakin banyak. Pada suatu tegangan tertentu peristiwa *avalanche elektron* sekunder tidak bergantung lagi oleh jenis radiasi maupun energi (tenaga) radiasi yang datang. Maka dari itu pulsa yang dihasilkan mempunyai tinggi yang sama. Sehingga detektor *Geiger Muller* tidak bisa digunakan untuk menghitung energi dari zarah radiasi yang datang. Kalau tegangan V tersebut dinaikkan lebih tinggi lagi dari tegangan kerja *Geiger Muller*, maka detektor tersebut akan rusak, karena susunan molekul gas atau campuran gas tidak pada perbandingan semula atau terjadi peristiwa pelucutan terus menerus yang disebut *continous discharge*. (Wardhana, Wisnu Arya., 2007). Secara skematis prinsip kerja alat LBC (*Low Background Conter*) dengan detektor Geiger-Muller dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 : Diagram alir LBC Pencacah *Geiger-Muller*, Sumber : Susetyo, 1988.

Keterangan :

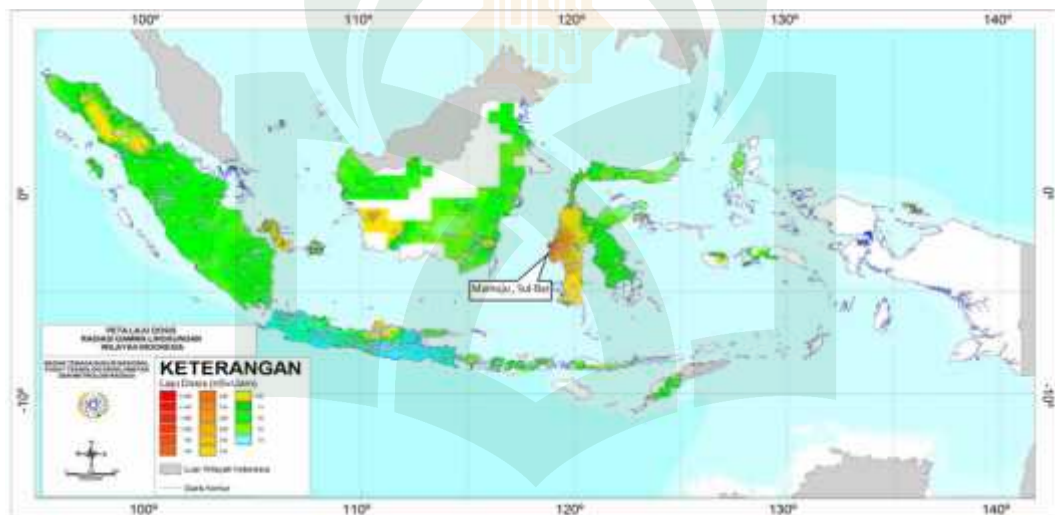
1. Tabung berisi gas
2. Lapisan logam (Katoda)
3. Kawat kecil (Anoda)
4. Trioda (sebagai Amplifier)
5. Alat cacah

2.7 Lokasi Penelitian

Mamuju merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Barat yang merupakan Provinsi baru hasil pemekaran dari Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2004. Provinsi Sulawesi Barat terletak di bagian barat Pulau Sulawesi dengan luas 16.796, 19 km², yang mencakup beberapa kabupaten, yaitu Kabupaten Polewali Mandar, Majene, Mamasa, Mamuju Utara, Mamuju Tengah dan Mamuju. Beberapa kecamatan di Kabupaten Mamuju merupakan daerah yang memiliki nilai laju dosis radiasi (radioaktivitas) tinggi (Iskandar dkk., 2007). Nilai radioaktivitas yang tinggi terdapat pada daerah yang tersusun oleh batuan vulkanik, terutama batuan vulkanik adang. Nilai radioaktivitas tinggi tersebut

diperkirakan berasal dari keterpadatan kandungan mineral radioaktif alami (Syaeful dkk., 2014).

Peta laju dosis radiasi sinar gamma seluruh Indonesia menunjukkan bahwa daerah Mamuju memiliki nilai laju dosis radiasi tertinggi dibandingkan wilayah lain di Indonesia, yang mencapai nilai 2.800 nSv/jam (Iskandar dkk., 2007). Pengukuran radioaktivitas dilakukan dengan metode *radiometric-carborne* survei dengan menggunakan *Exploranium GR-130* pada jaringan jalan utama di seluruh Pulau Sulawesi dan di daerah lainnya di Indonesia dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 : Peta laju dosis Radiasi Gamma lingkungan Indonesia. Sumber: Iskandar, dkk. 2007

Nilai laju dosis alamiah yang tinggi di suatu daerah mencerminkan keterpadatan unsur radioaktif yang terkandung dalam batuan, seperti Uranium (U), Thorium (Th) dan Potasium (K) atau unsur anak luruhnya. Pada umumnya, mineral radioaktif terutama U dan Th sangat erat kaitannya dengan batuan beku asam baik batuan plutonik (granitik) ataupun batuan vulkanik (riolitik), estimasi kadar rata-rata kandungan U dan Th pada beberapa bagian kerak bumi memiliki kaitan erat dengan jenis batuan penyusunnya (Hazen, dkk., 2009).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

Waktu dan tempat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

Hari/tanggal : Juli 2018 - Oktober 2018.

Tempat : 1. Pengambilan sampel

- a. Desa Botteng Kecamatan Simboro.
- b. Desa Binanga Kecamatan Mamuju.
- c. Desa Takkandeang Kecamatan Tapalang.

2. Preparasi sampel

- a. PSTA BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yogyakarta.

3. Pengukuran sampel

- a. PSTA BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yogyakarta.

3.2 Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Analisis Gross Beta

Alat dan bahan untuk analisis Gross Beta adalah sebagai berikut :

1. Air

- a. Alat
 - Kompor Listrik.
 - Hot Plate.
 - Pencacah *LBC (Low Background Counter)*.
 - Cawan Porselin.

- Stopwatch.
- Sendok kecil.
- Planset Aluminium.
- Neraca Analitik.
- Kertas Label.
- Botol Plastik.

b. Bahan

- Air.
- Aquadest.

2. Tanaman

a. Alat

- Kompor Listrik.
- Hot plate
- Plastik.
- Stainless steel.
- Pencacah *LBC (Low Background Counter)*.
- Furnace.
- Cawan porselin.
- Stopwatch.
- Sendok kecil.
- Neraca analitik.
- Kertas Label.
- Nampan.

- Planset Aluminium.

b. Bahan

- Tanaman Pangan (Ubi kayu).
- Aquadest.

3.2.2 Analisis Radionuklida

Alat dan bahan untuk analisis Radionuklida adalah sebagai berikut :

1. Air

a. Alat

- Kompor Listrik.
- Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge.
- Cawan Porselin.
- Vial Plastik.
- Gelas Ukur.
- Kertas Label.
- Botol Plastik.

b. Bahan

- Air.
- Aquadest.

2. Tanaman (Ubi Kayu)

a. Alat

- Kompor Listrik.
- Plastik.
- Vial plastik.

- Stainless steel.
- Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge.
- Furnace
- Cawan porselin.
- Stopwatch.
- Sendok kecil.
- Neraca analitik.
- Kertas Label.
- Nampan.
- Planset Aluminium.

b. Bahan

- Tanaman Pangan (Ubi Kayu).
- Aquadest.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur kerja pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Analisis Gross Beta

1. Air

Prosedur pengukuran tingkat radioaktivitas air menggunakan alat *LBC* (*Low Background Counter*) adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan sampel air dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah kabupaten Mamuju. Pengambilan sampel air diambil menggunakan botol plastik dan diberi label berdasarkan lokasi dan waktu pengambilan sampel.

- b. sampel air diambil 2 Liter, kemudian dituang ke dalam cawan porselin dan dipanaskan di atas kompor listrik dengan daya 600 W hingga yang tersisa residunya.
- c. Residu dituang ke dalam planset yang telah ditimbang beratnya (menggunakan neraca analitik) sedikit demi sedikit dan dikeringkan di atas hot plate.
- d. Bersihkan residu yang tertinggal dalam cawan porselin menggunakan sendok kecil dengan bilasan aquadest.
- e. Sisa residu dengan bilasan aquadest kemudian dituang ke dalam planset hingga semua residu dalam cawan porselin habis sambil dikeringkan di atas hot plate.
- f. Residu dalam planset dikeringkan di atas hot plate hingga semua airnya menguap.
- g. Menimbang berat cuplikan menggunakan neraca analitik.
- h. Kemudian alat *LBC* dihubungkan pada sumber arus pada panel terdekat.
- i. Atur tegangan tinggi pada tegangan kerja 1,27 KV dengan memutar pengatur tegangan sesuai arah jarum jam.
- j. Tempatkan planset kosong pada rak sampel untuk menghitung cacah latar, dimasukkan ke dalam kamar detektor *Geiger Muller* (GM) dan dipasang pada posisi tepat di bawah detektor.
- k. Tekan "*START*" dan "*COUNT*" pada alat pencatat cacah dan mengatur waktu cacah selama 30 menit.

- l. Menyesuaikan pengaturan waktu pada alat *LBC* dengan stopwatch selama 30 menit.
- m. Tekan "**STOP**" pada alat pencatat cacah dan Stop watch secara bersamaan (setelah 30 menit).
- n. Untuk melakukan pencacahan berikutnya tekan tombol "**RESET**" dan "**COUNT**" pada alat pencatat cacah.
- o. Melakukan pencacahan sebanyak 3 kali.
- p. Kemudian untuk planset berisi sampel air (residu) dilakukan pencacahan sebanyak 3 kali dengan langkah yang sama.
- q. Mencatat hasil cacah latar dan cuplikan (planset+residu) untuk menghitung radioaktivitas beta total dengan rumus :

$$A = \frac{C \times 1}{V \times \epsilon \times 6} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

A = Radioaktivitas beta total (Bq/L).

Cn = Laju cacah netto (cpm).

V = Volume awal sampel (L)

ϵ = Efisiensi alat masing-masing sampel (ditentukan dengan standar K-40 dari KCI).

(Sumber : Siswanti, dkk, 2013).

- r. Menghitung Laju cacah netto (cpm) dengan menggunakan rumus :

$$C = \frac{C - C_l}{t} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

C_n = Laju cacah netto (cpm).

C_s = Rerata cacah cuplikan.

C_l = Rerata cacah latar.

t = Lama pencacahan (m).

- s. Menghitung aktivitas beta K-40 dalam KCl sebagai sumber standar untuk mengetahui efisiensi alat dengan lama pencacahan 10 menit dengan variasi berat.
- t. Menghitung efisiensi alat menggunakan aktivitas K-40 dengan berat yang sama pada sampel dengan rumus :

$$\epsilon = \frac{C_1}{D_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana :

ϵ = Efisiensi alat (%)

Cpm = Laju cacah netto.

Dpm = Laju peluruhan K-40 dalam KCl.

(Sumber : Suratman, 1997).

- u. Melakukan identifikasi estimasi ketidakpastian dengan menentukan komponen-komponen penyumbang ketidakpastian pengukuran seperti:

- Massa dan volume sampel
- Cacahan sampel.
- Cacahan latar.
- Laju cacah.
- Laju peluruhan.

- Aktivitas sampel.

v. Perhitungan ketidakpastian (rambat ralat) untuk analisis Gross beta sampel air adalah :

- Simpangan baku cacah sampel

$$= K \sqrt{N} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana : = Simpangan baku cacah sampel

K = Konstanta untuk setiap kesalahan, yang nilainya

1,9600 (untuk tingkat kepercayaan 95%).

Ns = Cacah sampel.

(Sumber : Suratman, 1997).

- Simpangan baku cacah latar

$$= K \sqrt{N_l} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana : = Simpangan baku cacah latar.

K= Konstanta untuk setiap kesalahan, yang nilainya

1,9600 (untuk tingkat kepercayaan 95%).

N_l = Cacah Latar.

(Sumber : Suratman, 1997).

- Rambat ralat laju cacah sampel

$$= \sqrt{n_s/t} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana : n_s = Laju cacah sampel (cpm)

t = lama pencacahan (m)

- Rambat ralat laju cacah latar

$$= \sqrt{n_l/t} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana : n_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (m)

- Rambat ralat laju cacah netto

$$= \sqrt{\left(\frac{L_s}{t}\right)^2 + \left(\frac{L_l}{t}\right)^2} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana : L_s = Laju cacah sampel (cpm)

L_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (s)

- Rambat ralat laju peluruhan

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{L_s}{t}\right)^2 + \left(\frac{L_l}{t}\right)^2}}{\varepsilon} \times 100 \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana : L_s = Laju cacah sampel (cpm)

L_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (s)

ε = Efisiensi pencacahan

- Rambat ralat aktivitas

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{L_s}{t}\right)^2 + \left(\frac{L_l}{t}\right)^2}}{V \times \varepsilon \times 6} \times 100 \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana : L_s = Laju cacah sampel (cpm)

L_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (s)

= Efisiensi pencacahan

V = Volume awal sampel (L).

- Pengukuran ketelitian

Ketelitian pengukuran = $100\% - (\text{ / } A \times 100\%)$

Dimana : = Rambat ralat laju peluruhan

A = Akitivitas beta total.

w. Menghitung Deteksi Minimum (DM) untuk ketelitian 99,7 % dengan

menggunakan rumus :

$$D = 3\sqrt{C_l/t} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dimana :

DM = Deteksi minimum.

C_l = Rerata Laju cacah latar (cpm).

t = lama pencacahan (m).

(Sumber : Suratman, 1997).

x. Menghitung *Minimum Detectable Concentration* (MDC) dengan

menggunakan rumus :

$$MDC = \frac{LD \times 100}{60 \times V \times \varepsilon} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana :

MDC = Batas deteksi minimum (Bq/L)

LD = Limit deteksi

V = Volume awal sampel (L)

= Efisiensi pencacahan dengan aktivitas terkecil.

y. Menyajikan Analisis Radioaktivitas beta total pada sampel air menggunakan tabel.

2. Tanaman Pangan (Ubi kayu)

Prosedur pengukuran tingkat radioaktivitas tanaman menggunakan alat *LBC (Low Background Counter)* adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan sampel tanaman (ubi kayu) dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah kabupaten Mamuju. Pengambilan sampel tanaman diambil menggunakan plastik dan diberi label berdasarkan lokasi dan waktu pengambilan sampel.
- b. sampel tanaman kemudian dipisah-pisah menjadi tiga bagian yaitu daun, batang dan umbinya.
- c. kemudian sampel dijemur menggunakan nampan hingga berwarna kecoklatan
- d. sampel yang kering diletakkan ke wadah stainless steel dan dipanaskan di atas kompor listrik dengan daya 600 W.
- e. Sampel dipanaskan hingga berubah menjadi arang.
- f. Sampel arang dipindahkan ke dalam cawan porselin dan di masukkan ke dalam tanur (diabukan) pada suhu 400°C selama 6 jam dalam waktu 4 hari (1hari = 6 jam pemanasan).
- g. Mengambil cuplikan seberat 0,5 gram dan diletakkan di atas planset aluminium yang telah ditimbang beratnya (menggunakan neraca analitik).

- h. Kemudian menuangkan aquadest pada cuplikan sampai penuh dan dikeringkan di atas hot plate hingga semua airnya menguap.
- i. Kemudian alat *LBC* dihubungkan pada sumber arus pada panel terdekat.
- j. Atur tegangan tinggi pada tegangan kerja 1,27 KV dengan memutar pengatur tegangan sesuai arah jarum jam.
- k. Tempatkan planset kosong pada rak sampel untuk menghitung cacah latar, dimasukkan ke dalam kamar detektor *Geiger Muller* (GM) dan dipasang pada posisi tepat di bawah detektor.
- l. Tekan "**START**" dan "**COUNT**" pada alat pencatat cacah dan mengatur waktu cacah selama 30 menit.
- m. Menyesuaikan pengaturan waktu pada alat *LBC* dengan stopwatch selama 30 menit.
- n. Tekan "**STOP**" pada alat pencatat cacah dan Stop watch secara bersamaan (setelah 30 menit).
- o. Untuk melakukan pencacahan berikutnya tekan tombol "**RESET**" dan "**COUNT**" pada alat pencatat cacah.
- p. Melakukan pencacahan sebanyak 3 kali.
- q. Kemudian untuk planset berisi sampel tanaman (abu) dilakukan pencacahan sebanyak 3 kali dengan langkah yang sama.
- r. Mencatat hasil cacah latar dan cuplikan (planset + abu) untuk menghitung radioaktivitas beta total dengan rumus :

$$A = \frac{C \times 1}{W \times t \times 60} \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana :

A = Radioaktivitas beta total (Bq/gr abu).

ε = Efisiensi alat (ditentukan dengan standar K-40 dari KCl).

C_n = Laju cacah netto (cpm).

W = Berat abu yang dicacah (gr)

(Sumber : Sri Murniasih, dkk., 2010).

- s. Menghitung Laju cacah netto (cpm) dengan menggunakan rumus:

$$C = \frac{C - C_l}{t} \dots\dots\dots (3.14)$$

Dimana :

C_n = Laju cacah netto (cpm).

C_s = Rerata cacah cuplikan.

C_l = Rerata cacah latar.

t = Lama pencacahan (m).

- t. Menghitung aktivitas beta K-40 dalam KCl sebagai sumber standar untuk mengetahui efisiensi alat dengan lama pencacahan 10 menit dengan variasi berat.

- u. Menghitung efisiensi alat menggunakan aktivitas K-40 dengan berat yang sama pada sampel dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{C_l}{D_l} \times 100\% \dots\dots\dots (3.15)$$

Dimana :

ε = Efisiensi alat (%)

C_{pm} = Laju cacah netto.

Dpm = Laju peluruhan K-40 dalam KCl.

(Sumber : Suratman, 1997).

- v. Melakukan identifikasi estimasi ketidakpastian dengan menentukan komponen-komponen penyumbang ketidakpastian pengukuran seperti :

- Massa sampel.
- Cacahan sampel.
- Cacahan latar.
- Laju cacah.
- Laju peluruhan.
- Aktivitas sampel.

- w. Perhitungan ketidakpastian (rambat ralat) untuk analisis Gross beta sampel tanaman adalah :

- Simpangan baku cacah sampel

$$= K \sqrt{N} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dimana :

= Simpangan baku cacah sampel

K= Konstanta untuk setiap kesalahan, yang nilainya 1,9600
(untuk tingkat kepercayaan 95%).

Ns = Cacah sampel

(Sumber : Suratman, 1997).

- Simpangan baku cacah latar

$$= K \sqrt{N_l} \dots\dots\dots (3.17)$$

Dimana :

= Simpangan baku cacah latar.

K= Konstanta untuk setiap kesalahan, yang nilainya 1,9600

(untuk tingkat kepercayaan 95%).

N_l = Cacah Latar.

(Sumber : Suratman, 1997).

- Rambat ralat laju cacah sampel

$$= \sqrt{n_s/t} \dots\dots\dots (3.18)$$

Dimana : n_s = Laju cacah sampel (cpm)

t = lama pencacahan (m)

- Rambat ralat laju cacah latar

$$= \sqrt{n_l/t} \dots\dots\dots (3.19)$$

Dimana : n_l = Laju cacah latar (cpm).

t = lama pencacahan (m).

- Rambat ralat laju cacah netto

$$= \sqrt{\left(\frac{L_s}{t}\right)^2 + \left(\frac{L_l}{t}\right)^2} \dots\dots\dots (3.20)$$

Dimana : L_s = Laju cacah sampel (cpm)

L_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (s)

- Rambat ralat laju peluruhan

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{L_s}{t}\right)^2 + \left(\frac{L_l}{t}\right)^2}}{\epsilon} \times 100 \dots\dots\dots (3.21)$$

Dimana : L_s = Laju cacah sampel (cpm)

L_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (s)

= Efisiensi pencacahan

- Rambat ralat aktivitas

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{L_s}{t}\right)^2 + \left(\frac{L_l}{t}\right)^2}}{W \times \epsilon \times 6} \times 100 \dots\dots\dots (3.22)$$

Dimana : L_s = Laju cacah sampel (cpm)

L_l = Laju cacah latar (cpm)

t = lama pencacahan (s)

= Efisiensi pencacahan

W = Berat sampel yang dicacah (Bq/gr abu).

- Pengukuran ketelitian

Ketelitian pengukuran = $100\% - \left(\frac{\text{Rambat ralat}}{A} \times 100\% \right)$

Dimana : = Rambat ralat laju peluruhan

A = Akitivitas beta total.

- x. Menghitung Deteksi Minimum (DM) untuk ketelitian 99,7 % dengan menggunakan rumus :

$$D = 3\sqrt{C_l/t} \dots\dots\dots (3.23)$$

Dimana :

DM = Deteksi minimum.

C_l = Rerata Laju cacah latar (cpm).

t = lama pencacahan (m).

(Sumber : Suratman, 1997).

- y. Menghitung *Minimum Detectable Concentration* (MDC) dengan menggunakan rumus :

$$MDC = \frac{LD \times 100}{60 \times W \times \epsilon} \dots\dots\dots (3.24)$$

Dimana :

MDC = Batas deteksi minimum (Bq/ gr abu)

LD = Limit deteksi

W = berat sampel yang dicacah (gr abu)

= Efisiensi pencacahan.

- z. Menyajikan Analisis Radioaktivitas beta total pada sampel tanaman (ubi kayu) menggunakan tabel.

3.3.2 Analisis Radionuklida

1. Air

Prosedur pengukuran radionuklida air menggunakan alat Spektrometer Gamma adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan sampel air dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah kabupaten Mamuju. Pengambilan sampel air diambil menggunakan botol plastik dan diberi label berdasarkan lokasi dan waktu pengambilan sampel.
- b. Mengambil sampel air sebanyak 2 liter dan menuangkannya ke dalam cawan porselin.

- c. Menguapkan sampel air menggunakan kompor listrik sampai volume tinggal ± 90 ml (mengukur volume air menggunakan gelas ukur).
- d. Bersihkan residu yang tersisa menggunakan bilasan aquadest sebanyak ± 5 ml.
- e. Menuangkan sampel air hasil penguapan dan hasil bilasan aquadest ke dalam vial plastik volume ± 100 ml, ditutup rapat dan diberi label berdasarkan lokasi dan waktu preparasi sampel.
- f. Menghidupkan alat Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge dengan menggeser tombol power ke posisi "ON".
- g. Tombol HV power supply dipindah ke posisi "ON" dan tombol *RESET* ditekan untuk memastikan lampu Led INHIBIT "*STATUS*" tidak berwarna merah.
- h. Alat spektrometri gamma dikondisikan selama kurang lebih 30 menit agar HV mencapai kestabilan.
- i. Melakukan pencacahan sampel menggunakan software Genie 2000.
- j. Komputer dihidupkan, dibuka program Genie-2000 dan diaktifkan program Gamma Acquisition & Analysis.
- k. Ditekan tombol FILE, OPEN DATA SOURCE, SOURCE DETEKTOR dan diklik MP2_MCA1.
- l. Sampel yang telah dipreparasi dimasukan ke dalam wadah polietilen dan siap dicacah.
- m. Toolbar MCA ditekan dan dilakukan setting waktu pencacahan, pada acquire setup waktu disetting 43200 detik.

- n. Identitas sampel seperti jenis dan ukuran sampel, tanggal pencacahan diisikan pada Edit Sampel Info.
- o. Tombol **"START"** pada program Gamma Acquisition & Analysis ditekan.
- p. Setelah pencacahan selesai, disimpan hasil pencacahan menggunakan File Save As.
- q. Dilakukan pencacahan sumber standar (^{241}Am dan ^{60}Co) sebagai kalibrasi energi untuk mengetahui kandungan radionuklida dalam sampel, mengikuti SOP kalibrasi Spektrometer Gamma.
- r. Dilakukan pencacahan sumber standar ^{152}Eu cair selama 12 jam sebagai kalibrasi efisiensi untuk mengetahui aktivitas radionuklida dalam sampel, mengikuti SOP kalibrasi Spektrometer Gamma.
- s. Melakukan analisis dan perhitungan konsentrasi dalam sampel serta perhitungan limit deteksi (LD), dengan rumus :

$$A_i = \frac{N_s - N_b \pm \delta}{\epsilon \times y \times t \times V} \dots \dots \dots (3.25)$$

Dimana :

A_i = Aktivitas radionuklida i (Bq/L).

N_s = Net area atau data cacah sampel.

N_b = Net area atau data cacah Background.

ϵ = Efisiensi pencacahan setiap energi .

$yield$ = Probabilitas pancaran .

t = Lama waktu pencacahan (s).

V = Volume awal (L).

= Simpangan baku pencacahan

(sumber : Perka BATAN No.12/2013, tentang pedoman penyusunan dan pengendalian SOP).

- t. Menghitung efisiensi alat menggunakan sumber standar Eu-152 untuk sampel air dengan rumus :

$$= \frac{C_s}{A_s \times Y} \times 100\% \dots\dots\dots (3.26)$$

dimana :

= Efisiensi alat (%)

Cst = Cacah netto sumber standar untuk sampel air (cps)

Ast = Aktivitas sumber standar untuk sampel air (dps)

= Probabilitas pancaran gamma (%)

(sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- u. Menghitung deteksi minimum (limit deteksi) alat untuk tingkat kepercayaan 98% menggunakan rumus :

$$LD = 2,33 \times \frac{\sqrt{C_b / (t_b \times t_s)}}{\epsilon \times Y} \dots\dots\dots (3.27)$$

Dimana :

LD = Deteksi minimum (cps).

C_b = Rerata cacah latar

t_b = Lama pencacahan latar (s)

t_s = Lama pencacahan sampel (s)

= Efisiensi pencacahan

= Probabilitas pancaran gamma

(Sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- v. Menghitung *Minimum Detectable Concentration* (MDC) alat untuk tingkat kepercayaan 98% menggunakan rumus :

$$MDC = 2,33 \times \frac{\sqrt{C_b / (t_b \times t_s)}}{\epsilon \times \gamma \times V} \dots\dots\dots (3.28)$$

Dimana :

MDC = Batas deteksi minimum (Bq/L)

C_b = Rerata cacah latar

t_b = Lama pencacahan latar (s)

t_s = Lama pencacahan sampel (s)

= Efisiensi pencacahan

= Probabilitas pancaran gamma

V = Volume sampel yang dicacah (L)

(sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- w. Rambat ralat atau simpangan baku untuk aktivitas setiap Radionuklida menggunakan distribusi Poisson dengan rumus :

$$= K \sqrt{\left(\frac{C_t}{t_s^2}\right) - \left(\frac{C_l}{t_b^2}\right)} \dots\dots\dots (3.29)$$

Dimana :

= Simpangan baku pencacahan

K = Konstanta kesalahan pencacahan dengan nilai 1,9600 dengan tingkat kepercayaan 95%

C_t = Cacah sampel

Cl = Cacah latar

t_s = Lama pencacahan sampel (s)

t_b = Lama pencacahan latar (s).

(Sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- x. Menyajikan evaluasi hasil perhitungan kualitatif dan kuantitatif radionuklida dan radioaktivitas sampel air dalam bentuk tabel.

2. Tanaman pangan (Ubi kayu)

Prosedur pengukuran radionuklida tanaman pangan (Ubi kayu) menggunakan alat Spektrometer Gamma adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan sampel tanaman (ubi kayu) dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah kabupaten Mamuju. Pengambilan sampel tanaman diambil menggunakan plastik dan diberi label berdasarkan lokasi dan waktu pengambilan sampel.
- b. Sampel tanaman dengan berat basah ± 1 kg dipisah-pisah menjadi tiga bagian yaitu daun, batang dan umbinya.
- c. Kemudian sampel dijemur menggunakan nampan hingga berwarna kecoklatan
- d. Sampel yang kering diletakkan ke wadah stainless steel dan dipanaskan di atas kompor listrik dengan daya 600 W.
- e. Sampel dipanaskan hingga berubah menjadi arang.
- f. Sampel arang dipindahkan ke dalam cawan porselin dan dimasukkan ke dalam tanur (diabukan) pada suhu 400°C selama 6 jam dalam waktu 4 hari (1hari = 6 jam pemanasan).

- g. Kemudian sampel tanaman (setelah diabukan) dihaluskan dengan dengan digerus menggunakan jcawan porselin.
- h. Sampel yang telah halus dimasukkan ke dalam vial plastik menggunakan sendok kecil sampai penuh.
- i. Pemberian label pada vial plastik berdasarkan lokasi dan waktu preparasi sampel.
- j. Menghidupkan alat Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge dengan menggeser tombol power ke posisi "ON".
- k. Tombol HV power supply dipindah ke posisi "ON" dan tombol *RESET* ditekan untuk memastikan lampu Led INHIBIT "STATUS" tidak berwarna merah.
- l. Alat spektrometri gamma dikondisikan selama kurang lebih 30 menit agar HV mencapai kestabilan.
- m. Melakukan pencacahan sampel menggunakan software Genie 2000 selama 12 jam.
- n. Komputer dihidupkan, dibuka program Genie-2000 dan diaktifkan program Gamma Acquisition & Analysis.
- o. Ditekan tombol FILE, OPEN DATA SOURCE, SOURCE DETEKTOR dan diklik MP2_MCA1.
- p. Sampel yang telah dipreparasi dimasukan ke dalam wadah polietilen dan siap dicacah.
- q. Toolbar MCA ditekan dan dilakukan setting waktu pencacahan, pada acquire setup waktu disetting 43200 detik.

- r. Identitas sampel seperti jenis dan ukuran sampel, tanggal pencacahan diisikan pada Edit Sampel Info.
- s. Tombol **"START"** pada program Gamma Acquisition & Analysis ditekan.
- t. Setelah pencacahan selesai, disimpan hasil pencacahan menggunakan File Save As.
- u. Dilakukan pencacahan sumber standar (^{241}Am dan ^{60}Co) sebagai kalibrasi energi untuk mengetahui kandungan radionuklida dalam sampel, mengikuti SOP kalibrasi Spektrometer Gamma.
- v. Dilakukan pencacahan sumber standar IAEA-373 dan ^{152}Eu selama 1 jam sebagai kalibrasi efisiensi untuk mengetahui aktivitas radionuklida dalam sampel, mengikuti SOP kalibrasi Spektrometer Gamma.
- w. Melakukan analisis dan perhitungan konsentrasi dalam sampel serta perhitungan limit deteksi (LD), dengan rumus :

$$A = \frac{N_l \pm \delta}{\epsilon \times \gamma \times t \times M} \dots \dots \dots (3.30)$$

Dimana :

A = Aktivitas radionuklida (Bq/gr abu).

N_l = Data cacah netto.

ϵ = Efisiensi pencacahan setiap energi .

γ = Probabilitas pancaran .

t = Lama waktu pencacahan (s).

M = Massa sampel (abu) yang diukur (gr).

= Simpangan baku pencacahan.

(Sumber : E Fujinaga, 1979).

- x. Menghitung efisiensi alat menggunakan sumber standar IAEA-373 dan Eu-152 untuk sampel tanaman menggunakan rumus :

$$= \frac{c}{d \times \gamma} \times 100\% \dots\dots\dots (3.31)$$

Dimana :

= Efisiensi alat (%)

cps = Cacah netto sumber standar

dps = Disintegrasi per sekon / Aktivitas sumber standar pada saat pengukuran (Bq)

= Probabilitas pancaran gamma (%)

(Sumber : Agus Tri Purwanto, 2013).

- y. Menghitung deteksi minimum (limit deteksi) alat untuk tingkat kepercayaan 98% menggunakan rumus :

$$LD = 2,33 \times \frac{\sqrt{C_b / (t_b \times t_s)}}{\epsilon \times \gamma} \dots\dots\dots (3.32)$$

Dimana :

LD = Deteksi minimum (cps)

C_b = Cacah latar

t_b = Lama pencacahan latar (s)

t_s = Lama pencacahan sampel (s)

= Efisiensi pencacahan

= Probabilitas pancaran gamma

(Sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- z. Menghitung *Minimum Detectable Concentration* (MDC) alat untuk tingkat kepercayaan 98% menggunakan rumus :

$$MDC = 2,33 \times \frac{\sqrt{C_b / (t_b \times t_s)}}{\epsilon \times \gamma \times W} \dots\dots\dots (3.33)$$

Dimana :

MDC = Batas deteksi minimum (Bq/gr abu)

C_b = Cacah latar

t_b = Lama pencacahan latar (s)

t_s = Lama pencacahan sampel (s)

= Efisiensi pencacahan

W = Berat sampel yang dicacah (gr abu)

= Probabilitas pancaran gamma

(Sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- aa. Rambat ralat atau simpangan baku untuk aktivitas setiap Radionuklida menggunakan distribusi Poisson dengan rumus :

$$= K \sqrt{\left(\frac{C_t}{t_s^2}\right) - \left(\frac{C_l}{t_b^2}\right)} \dots\dots\dots (3.34)$$

Dimana :

= Simpangan baku pencacahan

K = Konstanta kesalahan pencacahan dengan nilai 1,9600 dengan tingkat kepercayaan 95%

C_t = Cacah sampel

Cl = Cacah latar

t_s = Lama pencacahan sampel (s)

t_b = Lama pencacahan latar (s)

(Sumber : Amir Supriyanto, 2005).

- ab. Menyajikan evaluasi hasil perhitungan kualitatif dan kuantitatif radionuklida pada sampel tanaman pangan (Ubi kayu) dalam bentuk tabel.

3.4 Evaluasi Data

3.4.1 Uji Hipotesis

Analisis uji signifikansi gross beta untuk mencari perbedaan aktivitas sampel di setiap lokasi adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan Probabilitas kelompok data yang dibandingkan. Probabilitas data yang dipakai adalah 5% (0,05), yang artinya dua kelompok data yang dibandingkan hanya memiliki 5% kesamaan.
- b. Menetapkan hipotesis yang menerangkan perbedaan antara kelompok data. Hipotesis nol (H_0) digunakan apabila tidak ada perbedaan antara kelompok data dan Hipotesis alternatif (H_a) digunakan jika terdapat perbedaan signifikan antara kelompok data secara statistik.

- c. Menghitung derajat kebebasan dengan uji dua sisi dengan rumus :

$$df = N - n \dots\dots\dots (3.35)$$

Dimana : df = Derajat kebebasan.

N = Jumlah seluruh data yang dibandingkan.

n = Jumlah kelompok data yang dibandingkan.

- d. Mencari taraf signifikansi dengan pengujian dua sisi pada tabel distribusi t. Taraf signifikansi dipilih berdasarkan probabilitas dan derajat kebebasan data yang akan dibandingkan. Taraf signifikan yang didapat akan dibandingkan dengan taraf signifikan hasil perhitungan.

- e. Menghitung simpangan baku setiap kelompok data menggunakan rumus :

$$S_i = \sqrt{\frac{(X - \mu)^2}{N-1}} \dots\dots\dots (3.36)$$

Dimana : i = Kelompok data ke- i .

S_i = Simpangan baku cacah netto.

X_i = Cacah netto

μ_i = Rerata cacah sampel air (cacah netto).

N = Banyaknya pengukuran setiap kelompok data.

- f. Menghitung varian simpangan baku antar dua kelompok data menggunakan rumus :

$$S_{d_{i-j}} = \sqrt{\frac{(S_i)^2}{N} + \frac{(S_j)^2}{N}} \dots\dots\dots (3.37)$$

Dimana : $i-j$ = Dua kelompok data yang dibandingkan.

$S_{d_{i-j}}$ = Varian simpangan baku data i dan j .

S = Simpangan baku tiap kelompok data.

N = Banyaknya pengukuran.

- g. Menghitung taraf signifikan untuk menentukan probabilitas antara kelompok sampel menggunakan rumus :

$$t_{i-j} = \frac{\mu_i - \mu_j}{S_{i-j}} \dots\dots\dots (3.38)$$

dimana : t_{i-j} = nilai t pada data i dan j.

S_{i-j} = Varian simpangan baku data i dan j.

- h. Membandingkan taraf signifikan hitung dengan taraf signifikan pada tabel distribusi. Apabila t hitung berada dalam *range* ($\pm t$) maka diambil hipotesis H_0 (tidak ada perbedaan aktivitas pada sampel di setiap lokasi) dan diambil H_a (bila ada perbedaan yang signifikan antar sampel disetiap lokasi) jika berada diluar jangkauan taraf signifikan yang telah di tentukan ($H_a < -t$ atau $H_a > t$).

3.4.2 Perhitungan Interval kepercayaan

- a. Menghitung konstanta kepercayaan menggunakan rumus :

$$Z = a / 2 \dots\dots\dots (3.39)$$

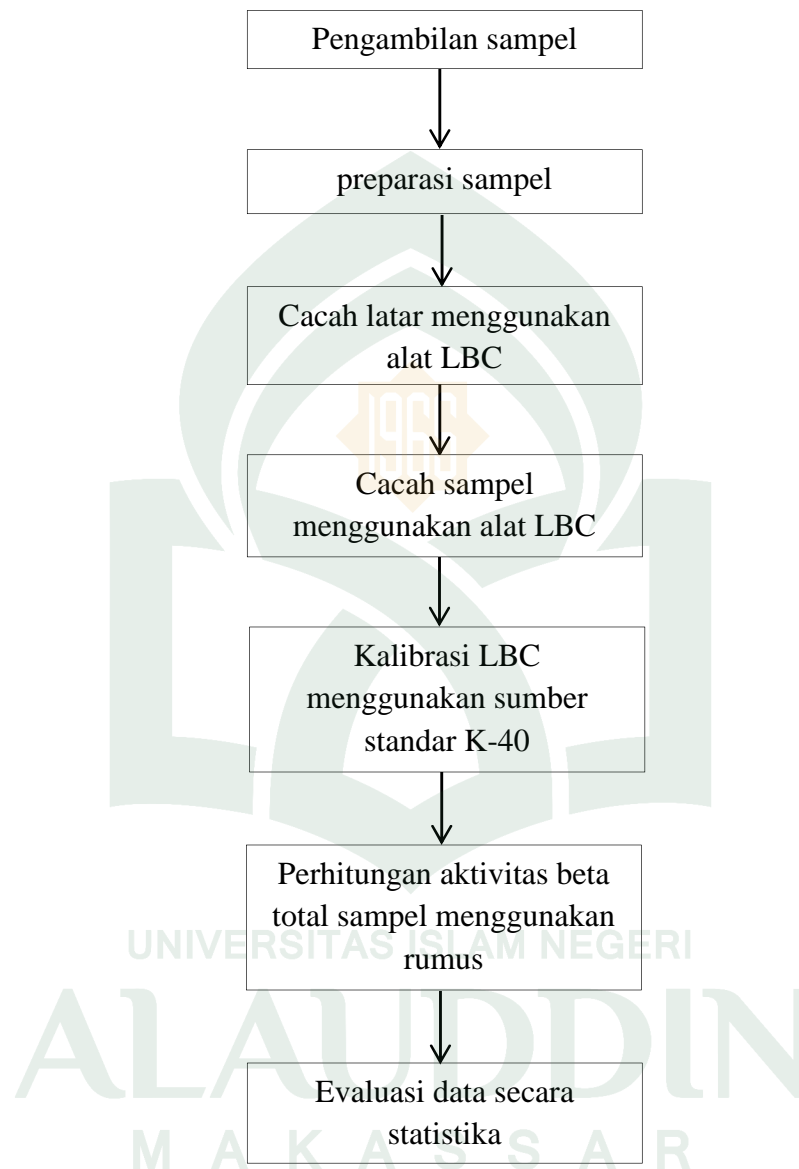
Dimana : Z = Koefisien kepercayaan.

a = Tingkat kepercayaan (angka desimal).

- b. Kemudian mencari angka yang sesuai pada tabel distribusi z dengan angka yang didapat pada persamaan (3.39).
- c. Menjumlahkan baris dan kolom pada angka yang sesuai dengan tabel distribusi z untuk mendapatkan konstanta kepercayaan.

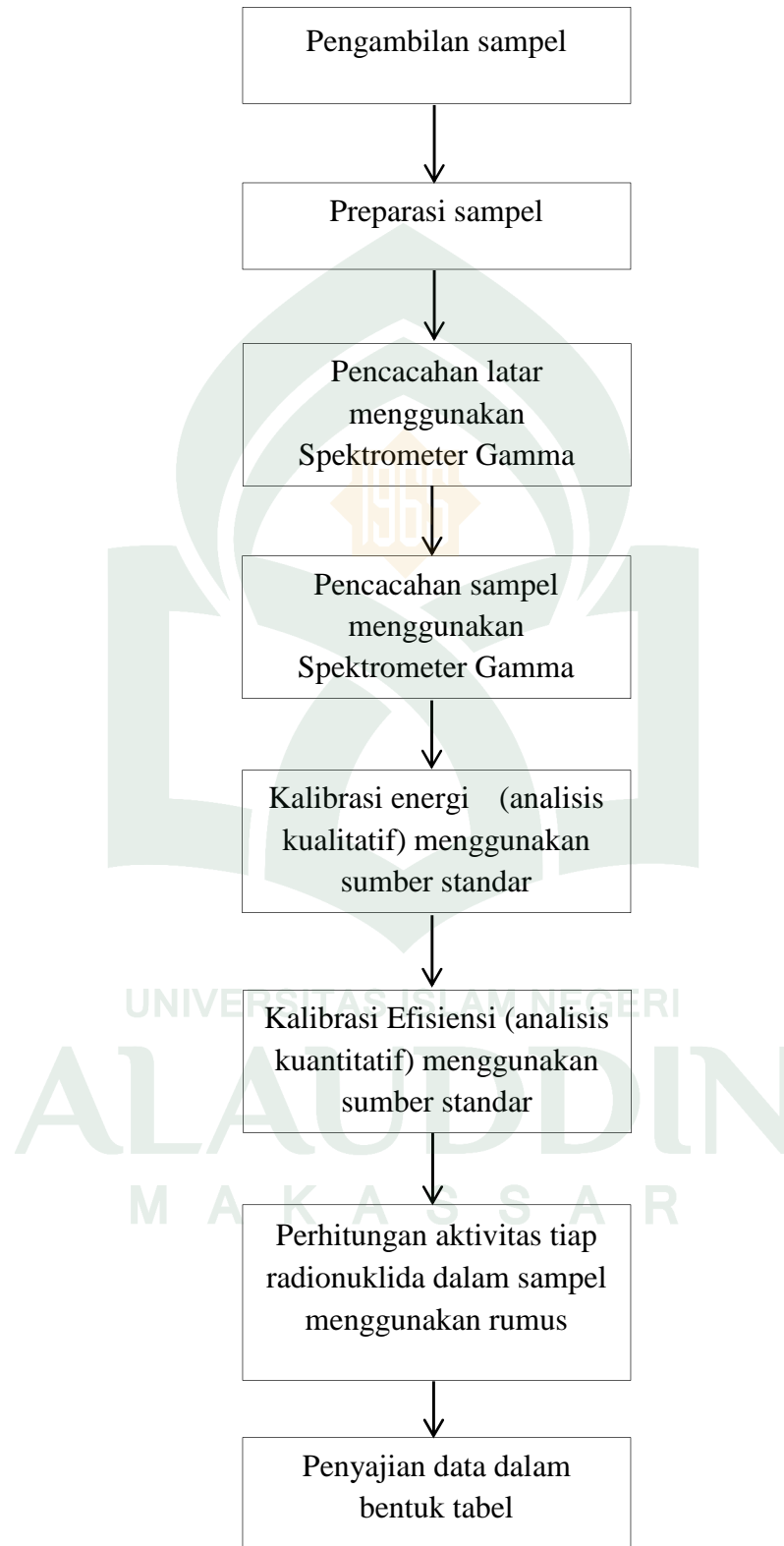
3.5 Diagram Alir

3.5.1 Analisis Gross Beta



Gambar 3.1 : Garis besar metode pengujian menggunakan alat LBC

3.5.2 Analisis Radionuklida Gamma



Gambar 3.2 : Garis besar metode pengujian menggunakan Spektrometer Gamma

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Gross Beta

4.1.1 Aktivitas Beta total untuk Air

Pengukuran radioaktivitas beta total sampel air menggunakan alat LBC (*Low Background Counter*) dengan detektor *Geiger Muller*. Pengambilan sampel air dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah Kabupaten Mamuju, yaitu Desa Takkandeang, Desa Botteng dan desa Binanga. Pengukuran ini dilakukan sebanyak tiga kali pencacahan setiap sampel, dengan waktu 30 menit tiap pencacahan. Efisiensi alat bervariasi tergantung berat sampel air yang dicacah (menggunakan K-40 sebagai sumber standar tahun 2018, Batan). Sebelum pencacahan sampel, dilakukan pencacahan latar untuk mengetahui aktivitas sampel sebenarnya. Perhitungan radioaktivitas beta total sampel air menggunakan rumus pada persamaan (3.1). Data analisis radioaktivitas beta pada sampel air dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Pada Tabel 4.1 memperlihatkan aktivitas beta total sampel air pada daerah Kabupaten Mamuju adalah 0,10 Bq/L – 0,67 Bq/L. Aktivitas beta sampel air tertinggi pada daerah Takkandeang dan terendah di daerah Botteng. Hal ini disebabkan tingginya laju paparan radiasi eksternal dan radioaktivitas tanah Desa Takkandeang dibanding daerah lain di Kabupaten Mamuju.

Tabel 4.1 : Hasil Pengukuran Aktivitas Beta pada sampel Air

NO	Nama Lokasi	Jenis Air	Berat Sampel (gr)	t (mnt)	Jml cacah		Cacah Bersih	Eff (%)	Aktivitas (Bq/L)
					Cplk	Latar			
1	Takandeang	Air Permukaan	0,27306	30	284,00	95,67	188,33	7,80	0,67 ± 0,04
2	Botteng	Air Minum	0,15454	30	82,33	51	31,33	8,78	0,10 ± 0,01
3	Binanga	Air Minum	0,18720	30	116,33	54,67	61,66	8,45	0,20 ± 0,01

Catatan : *Limit Detection* (LD) : 0,82 cpm,

Minimum Detectable Concentration (MDC) : 0,078 Bq/L.

Pernyataan ini didukung dari hasil penelitian Moekhamad Alfiyan, pada tahun 2016. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya korelasi antara laju paparan radiasi eksternal dengan aktivitas beta pada sampel air di tiga lokasi pada daerah Kabupaten Mamuju. Hasil penelitian Moekhamad Alfiyan, 2016, dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 : Hasil pengukuran Laju Paparan Eksternal di Kabupaten Mamuju

Alat Ukur	Laju Paparan ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)		
	Binanga	Botteng	Takkandeang
Radeye PRD/SN.3102	Max: 0,78	Max: 0,72	Max: 1,35
	Mean: 0,45	Mean: 0,37	Mean: 0,85
Radeye PRD/SN.3156	Max: 0,84	Max: 0,72	Max: 1,97
	Mean: 0,67	Mean: 0,48	Mean: 1,35

Sumber : Alfiyan, 2016.

Hasil pengukuran laju paparan radiasi eksternal dan radioaktivitas tanah di daerah Mamuju pada penelitian sebelumnya relatif tinggi dibanding rata-rata hasil radiasi alam di dunia, namun karena fraksi lucutan (*Leaching*/isotop Radium dan Thorium) dari tanah ke air rendah, maka radioaktivitas di air menjadi rendah (Wahyudi, 2003). Selain itu, tidak adanya

industri nuklir dan non nuklir serta tempat pembuangan limbah disekitar daerah pengambilan sampel sehingga konsentrasi Radioaktivitas pada air relatif normal. Berdasarkan Keputusan Kepala BAPETEN No.02/Ka-BAPETEN/V-9, Tahun 1999, tentang Baku Tingkat Radioaktivitas di lingkungan, sebesar 1 Bq/L dalam air untuk radiasi Beta. Dengan kata lain, Radioaktivitas Beta dalam air di daerah Takkaendeang, Botteng dan Binanga masih berkualitas baik karena berada di bawah batas yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN. Hasil evaluasi data menunjukkan adanya perbedaan signifikan aktivitas sampel air di Desa Takkandeang, Botteng dan Binanga. Nilai taraf signifikan hitung (t hitung) berada diluar jangkauan nilai t yang telah ditentukan dengan probabilitas 5 %. Artinya, aktivitas beta total sampel air di tiga lokasi tersebut hanya mempunyai kesamaan $\pm 5 \%$ secara statistik.

Sebagai bahan perbandingan Tabel 4.3 menunjukkan aktivitas beta total untuk sampel air di sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY) pada bulan agustus 2018. Aktivitas beta sampel air antara $0,21 \pm 0,05$ Bq/L s/d $0,30 \pm 0,06$ Bq/L. Data Radioaktivitas beta total pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.3 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan untuk aktivitas beta total pada sampel air di sekitar KNY dengan daerah Mamuju, walaupun laju paparan radiasi eksternal dan radioaktivitas tanah di KNY jauh lebih kecil dibanding daerah Mamuju.

Tabel 4.3 : Hasil pengukuran Aktivitas Beta pada sampel air di sekitar KNY

NO	Nama Lokasi	Jenis Air	Berat Sampel (gr)	t (mnt)	Jumlah Cacah		Cacah Bersih	Eff (%)	Aktivitas (Bq/L)
					Cuplikan	Latar			
1	Ut.Gd. Bgkl.	Air Selokan	0,95008	30	161	80	81	7,47	0,30 ± 0,06
2	Ds. Corongan	Air Sumur	0,14895	30	167	80	87	8,85	0,27 ± 0,05
3	Ds. Janti	Air Sumur	0,28839	30	139	80	59	7,71	0,21 ± 0,05

Sumber : PSTA BATAN, 2018.

4.1.2 Aktivitas Beta total pada tanaman pangan (ubi kayu)

Pengukuran radioaktivitas beta total sampel tanaman menggunakan alat LBC (*Low Background Counter*) dengan detektor *Geiger Muller*. Pengambilan sampel tanaman pangan (ubi kayu) dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah Kabupaten Mamuju, yaitu Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga. Pengukuran ini dilakukan sebanyak tiga kali pencacahan setiap sampel, dengan waktu 30 menit tiap pencacahan. efisiensi alat sebesar 6,80% (sumber standar K-40 tahun 2018, Batan). Sebelum pencacahan sampel, dilakukan pencacahan latar untuk mengetahui aktivitas sampel sebenarnya. Perhitungan radioaktivitas beta total sampel tanaman menggunakan rumus pada persamaan (3.13). Data analisis radioaktivitas beta pada sampel tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hasil evaluasi data menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan aktivitas sampel tanaman pangan di Desa Takkandeang, Botteng dan Binanga. Nilai taraf signifikan hitung (t hitung) berada dijangkauan nilai t yang telah ditentukan dengan probabilitas 5 %. Artinya, aktivitas beta total sampel tanaman pangan di tiga lokasi tersebut mempunyai kesamaan ± 95 % secara statistik.

Tabel 4.4 : Hasil Pengukuran Aktivitas Beta pada sampel tanaman

NO	Nama Lokasi	Jenis tanaman	Berat Sampel (gr)	t (mnt)	Jml cacah		Cacah Bersih	Eff (%)	Aktivitas (Bq/gr abu)
					Cplk	Latar			
1	Takandeang	Ubi Kayu	0,5	30	473,00	69,67	403,33	6,80	6,59 \pm 0,13
2	Botteng	Ubi Kayu	0,5	30	475,00	75,00	400,00	6,80	6,54 \pm 0,13
3	Binanga	Ubi Kayu	0,5	30	427,67	63,67	364,00	6,80	5,95 \pm 0,12

Catatan : *Limit Detection* (LD) : 0,83 cpm,

Minimum Detectable Concentration (MDC) : 0,41 Bq/ gr abu

Pada Tabel 4.4 memperlihatkan akitivitas beta total sampel tanaman pada daerah Kabupaten Mamuju adalah 5,95 Bq/gr abu – 6,59 Bq/gr abu. Aktivitas beta total sampel ubi kayu tertinggi pada daerah Takkandeang dan terendah di daerah Binanga. Tidak adanya perbedaan signifikan aktifitas beta total pada sampel tanaman pangan (ubi kayu), sehingga tidak adanya korelasi antara laju paparan radiasi eksternal dengan aktifitas beta total pada sampel tanaman di tiga lokasi pada daerah Kabupaten Mamuju.

Radioaktivitas pada tanaman dapat dipengaruhi oleh zat mineral dan organik pada tanah. Kandungan zat mineral dan organik mempengaruhi penyerapan radionuklida pada tanah oleh tumbuhan saat melakukan metabolisme. Selain itu, tidak semua radionuklida dalam tanah dapat masuk ke tubuh tumbuhan karena adanya tekanan osmotik pada akar tanaman. Tekanan osmotik pada akar memungkinkan distribusi unsur hara, air dan unsur radionuklida dari tanah ke tubuh tumbuhan. Kemudian, unsur-unsur radionuklida dalam air dan tanah yang diserap oleh tanaman akan terfiltrasi oleh membran semipermeabel pada akar tanaman. Membran semipermeabel pada akar tanaman hanya dapat melewatkan zat-zat yang terlarut dalam air

karena adanya perbedaan konsentrasi (tekanan osmotik), sehingga radionuklida yang tidak larut dalam air tidak dapat masuk ke tubuh tumbuhan.

Baku mutu tentang radioaktivitas Beta pada sampel tanaman pangan, belum ditentukan oleh Depkes, BPOM dan BAPETEN, maka data yang diperoleh dapat menjadi masukan untuk penentuan baku mutu radioaktivitas pada lingkungan.

Pengukuran radioaktivitas beta total pada Tabel 4.4 bila dibandingkan dengan hasil pengukuran radioaktivitas beta total pada sampel tanaman disekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY) pada bulan agustus 2018, yaitu antara $4,00 \pm 0,09$ Bq/gr s/d $4,71 \pm 0,10$ Bq/gr. Pada Tabel 4.5 Radioaktivitas beta total pada sampel tanaman di daerah sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY) hampir sama dengan daerah Mamuju walaupun adanya perbedaan yang signifikan antara laju paparan radiasi dan radioaktivitas tanah di Kabupaten Mamuju dengan KNY.

Tabel 4.5 : Hasil pengukuran Aktivitas Beta total pada sampel tanaman pangan (Ubi kayu) di sekitar KNY

NO	Nama Lokasi	Jenis Air	Berat Sampel (gr)	t (mnt)	Jml cacah		Cacah Bersih	Eff (%)	Aktivitas (Bq/gr abu)
					Cuplikan	Latar			
1	Jl. Garundi (KNY-1)	Ubi Kayu	0,5	30	321,67	77	244,67	6,80	$4,00 \pm 0,09$
2	Jl. Sembada (KNY-2)	Ubi kayu	0,5	30	365,67	77,33	288,34	6,80	$4,71 \pm 0,10$

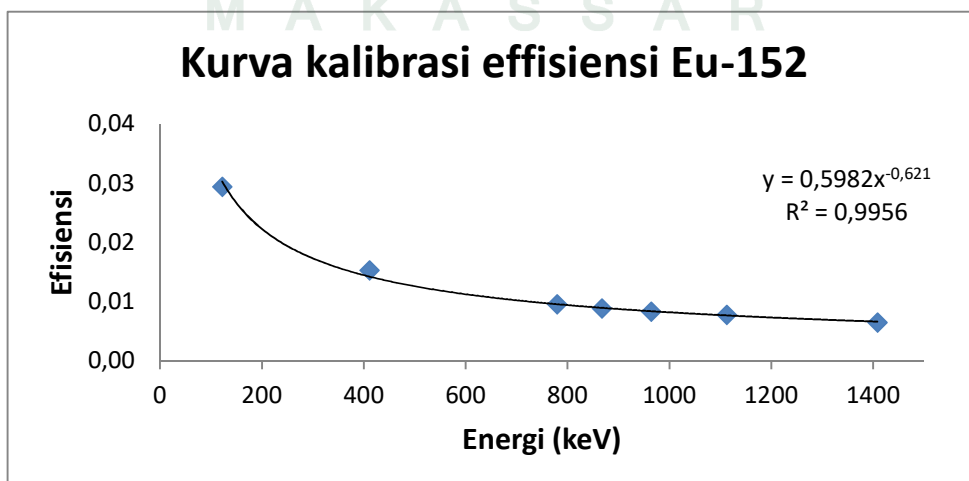
Catatan : *Limit Detection* (LD) : 0,88 cpm,

Minimum Detectable Concentration (MDC) : 0,43 Bq/ gr abu.

4.2 Analisis Radionuklida

4.2.1 Analisis Radionuklida sampel air

Analisis radionuklida pada sampel air secara kualitatif maupun kuantitatif menggunakan seperangkat alat Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge (*High purity Germanium*). Pengambilan sampel air dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah Kabupaten Mamuju, yaitu Desa Takandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga. Sampel dengan volume ± 100 ml dicacah selama 12 jam. Sebelum pencacahan sampel dilakukan pencacahan latar selama 12 jam. Kemudian, dilakukan Kalibrasi energi menggunakan sumber standar ^{241}Am dan ^{60}Co untuk identifikasi radionuklida secara kualitatif dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar ^{152}Eu yang sudah diketahui aktivitasnya untuk analisis radionuklida secara kuantitatif. Dilakukan Pencacahan sumber standar ^{152}Eu selama 12 jam untuk efisiensi cacahan detektor gamma untuk setiap nuklida ^{152}Eu yang terukur. Selanjutnya data sumber standar dianalisis data sumber standar ^{152}Eu untuk membuat kurva hubungan antara energi dengan efisiensi seperti pada Gambar 4.1. Hasil kalibrasi efisiensi digunakan untuk menghitung efisiensi radionuklida disetiap energi pada sampel air.



Gambar 4.1 : Kurva kalibrasi Efisiensi menggunakan sumber standar Eu-152

Perhitungan aktivitas setiap radionuklida pada sampel air menggunakan rumus pada persamaan (3.25). Hasil pengukuran aktivitas radionuklida dibandingkan dengan batas terendah pendeteksian (*Limit Detection* = LD) dan konsentrasi deteksi minimum (*Minimum Detectable Concentration* = MDC) alat. LD dan MDC dihitung menggunakan rumus pada persamaan (3.27) dan (3.28). Perhitungan LD dan MDC menggunakan rerata cacah latar radionuklida disetiap energi serta hasil efisiensi dan yield terbesar agar didapatkan batas deteksi terkecil radionuklida tersebut. Jika konsentrasi radionuklida lebih kecil atau sama dengan MDC, dikatakan bahwa konsentrasi radionuklida dalam sampel yang diukur tidak terdeteksi, sebaliknya jika konsentrasi lebih besar daripada MDC, radionuklida dalam sampel terdeteksi. Data analisis radionuklida sampel air di Kabupaten Mamuju dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 : Konsentrasi Radionuklida pada sampel air di Kabupaten Mamuju

No	Lokasi	Konsentrasi Aktivitas (Bq/L)					
		Ac-228	Bi-212	Bi-214	Pb-212	Pb-214	Ra-226
1.	Takkandeang	< MDC	< MDC	$0,36 \pm 0,19$	$0,37 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,06$	$0,64 \pm 0,18$
2.	Botteng	$0,39 \pm 0,10$	ttd	$1,44 \pm 0,35$	< MDC	$0,28 \pm 0,05$	ttd
3.	Binanga	< MDC	ttd	$2,01 \pm 0,51$	ttd	< MDC	ttd

Catatan : $MDC^{228}\text{Ac} = 0,23 \text{ Bq/L}$; $MDC^{214}\text{Bi} = 0,13 \text{ Bq/L}$; $MDC^{214}\text{Pb} = 0,13 \text{ Bq/L}$; $MDC^{212}\text{Bi} = 0,50 \text{ Bq/L}$; $MDC^{212}\text{Pb} = 0,11 \text{ Bq/L}$; $MDC^{226}\text{Ra} = 0,47 \text{ Bq/L}$; < MDC = Aktivitas rata-rata lebih kecil dari MDC.

Pada Tabel 4.6 memperlihatkan aktivitas radionuklida pada sampel air di Kabupaten Mamuju. Aktivitas Radionuklida yang teridentifikasi adalah

Ac-228 dengan aktivitas $< \text{MDC} - 0,39 \text{ Bq/L}$, Bi-212 dengan aktivitas ttd - $< \text{MDC}$, Bi-214 dengan aktivitas $0,36 \text{ Bq/L} - 2,01 \text{ Bq/L}$, Pb-212 dengan aktivitas ttd - $0,37 \text{ Bq/L}$, Pb-214 dengan aktivitas $< \text{MDC} - 0,28 \text{ Bq/L}$ dan Ra-226 dengan aktivitas ttd - $0,64 \text{ Bq/L}$. Radionuklida yang terdapat pada sampel air merupakan radionuklida primordial dari deret peluruhan uranium (Pb-214, Bi-214 dan Ra-226) dan deret peluruhan thorium (Pb-212, Bi-212 dan Ac-228) yang berasal dari dalam tanah dan tidak terdapat radionuklida kosmogenik (H-3, Be-7, C-14 dan Na-22). Aktivitas radionuklida air di Kabupaten Mamuju relatif rendah diduga karena pH sampel air yang netral. Menurut Chu dan Wang (2000), kelarutan uranium dan thorium berkaitan erat dengan nilai pH. Hal serupa dikemukakan oleh Lof (1987) bahwa pada kondisi perairan alkali, ion uranil akan membentuk senyawa uranil hidrogen karbonat yang stabil dan akan terdapat pada sedimen di dasar perairan.

Aktivitas radionuklida pada sampel air juga dipengaruhi oleh kandungan padatan yang tersuspensi. Padatan yang tersuspensi yang berasal dari kikisan tanah atau erosi tanah, akan masuk ke badan air sehingga radionuklida dalam padatan akan terakumulasi di dasar perairan (Ahmad, 2006). Menurut Carpenter (1997), penyebaran radionuklida di lingkungan perairan dipengaruhi oleh penyerapan dan pelepasannya di dalam partikel tersuspensi pada proses sedimentasi, pengangkutan horizontal dan akumulasi partikel dalam sedimen. Suseno (2001) mengemukakan bahwa padatan tersuspensi terdiri dari senyawa organik dan senyawa anorganik yang *Porous*. Sifat *Porous* ini menyebabkan padatan tersuspensi mempunyai kemampuan

menyerap radionuklida yang terkandung dalam air. Padatan suspensi tersebut suatu saat akan berflokulasi dan turun ke dasar perairan (Ahmad, 2006).

Unsur Ra-226 memiliki waktu paruh yang panjang dan berasal dari deret peluruhan Uranium (U-238). Keberadaan unsur Ra-226 pada lingkungan dianggap lebih penting untuk dipertimbangkan, karena dapat meningkatkan konsentrasi gas radon pada ruangan. Gas radon (Rn-222) bersifat radioaktif yang memiliki waktu paruh 3,82 hari dan memberikan risiko terjadinya kanker (Alfiyan, 2016).

Berdasarkan PERKA BAPETEN No.7 tahun 2017 tentang nilai batas radioaktivitas lingkungan, Batas Tertinggi yang Diizinkan (BTD) pada badan air untuk radionuklida Ac-228 sebesar 670 Bq/L, Bi-212 sebesar 1400 Bq/L dan Ra-226 sebesar 1 Bq/L, sedangkan untuk radionuklida Pb-212, Pb-214 dan Bi-214 tidak tercantum dalam PERKA BAPETEN. Hasil pengukuran aktivitas radionuklida Ac-228, Bi-212 dan Ra-226 pada sampel air di Kabupaten Mamuju seperti pada Tabel 4.6 masih berada dibawah batas yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN. Dengan kata lain, Konsentrasi Radioaktivitas air di Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga masih memenuhi syarat standar kualitas air.

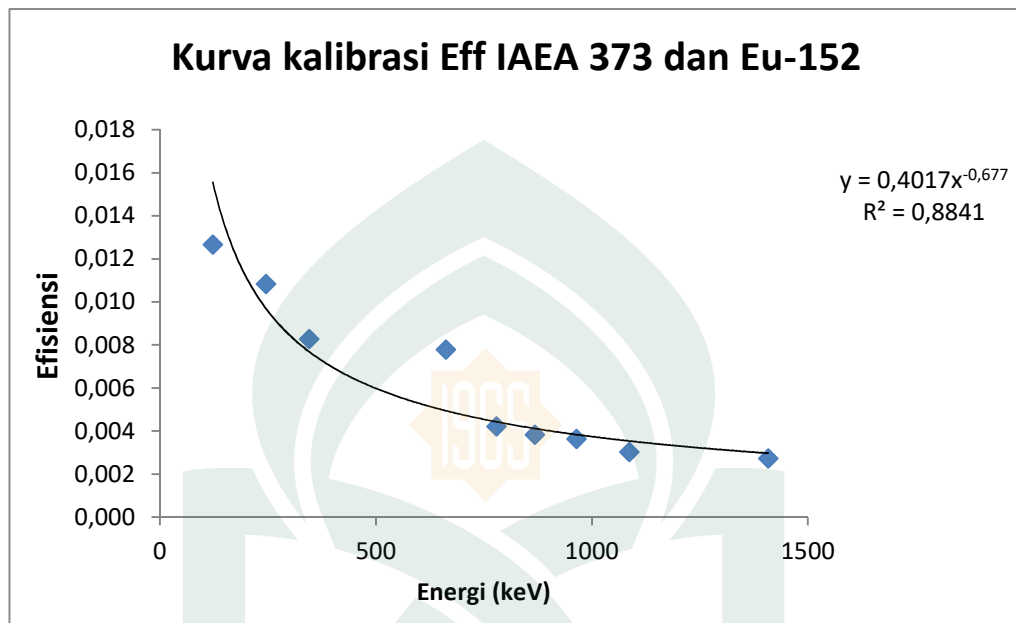
4.2.2 Analisis Radionuklida sampel tanaman pangan (ubi kayu)

Analisis radionuklida pada sampel tanaman secara kualitatif maupun kuantitatif menggunakan seperangkat alat Spektrometer Gamma dengan detektor Hp-Ge (*High purity Germanium*). Pengambilan sampel tanaman dilakukan di tiga titik yang telah ditentukan di daerah Kabupaten Mamuju,

yaitu Desa Takkandeang, Desa Botteng dan Desa Binanga. Sampel tanaman dengan berat abu yang bervariasi (Takkandeang = 7,92 gr, Botteng = 9,49 gr dan Binanga = 16,10 gr) dicacah selama 12 jam (untuk sampel tanaman Botteng dicacah sekitar 6 jam). Sebelum pencacahan sampel dilakukan pencacahan latar selama 12 jam. Kemudian, dilakukan Kalibrasi energi menggunakan sumber standar ^{241}Am dan ^{60}Co untuk identifikasi radionuklida secara kualitatif serta kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar ^{152}Eu yang sudah diketahui aktivitasnya dan sumber standar IAEA-373 untuk analisis radionuklida secara kuantitatif. Dilakukan Pencacahan sumber standar ^{152}Eu dan IAEA-373 selama 1 jam untuk efisiensi cacahan detektor gamma untuk setiap nuklida ^{152}Eu dan nuklida pada sumber standar IAEA-373 yang terukur. Selanjutnya data sumber standar ^{152}Eu dan IAEA-373 dianalisis untuk membuat kurva hubungan antara energi dengan efisiensi seperti pada Gambar 4.2. Persamaan kurva kalibrasi efisiensi Eu-152 dan IAEA-373 digunakan untuk menghitung efisiensi radionuklida disetiap energi yang terukur.

Perhitungan aktivitas setiap radionuklida pada sampel tanaman menggunakan rumus pada persamaan (3.30). Hasil pengukuran aktivitas radionuklida dibandingkan dengan batas terendah pendeteksian (*Limit Detection* = LD) dan konsentrasi deteksi minimum (*Minimum Detectable Concentration* = MDC) alat. LD dan MDC dihitung menggunakan rumus pada persamaan (3.32) dan (3.33). Perhitungan LD dan MDC menggunakan

rerata cacah latar radionuklida disetiap energi serta hasil efisiensi, yield dan massa terbesar agar didapatkan batas deteksi terkecil radionuklida tersebut.



Gambar 4.2 : Kurva kalibrasi efisiensi sumber standar Eu-152 dan IAEA-373

Persamaan kurva kalibrasi efisiensi Eu-152 dan IAEA-373 digunakan untuk menghitung efisiensi radionuklida disetiap energi yang terukur. Perhitungan aktivitas setiap radionuklida pada sampel tanaman menggunakan rumus pada persamaan (3.30). Hasil pengukuran aktivitas radionuklida dibandingkan dengan batas terendah pendeteksian (*Limit Detection* = LD) dan konsentrasi deteksi minimum (*Minimum Detectable Concentration* = MDC) alat. LD dan MDC dihitung menggunakan rumus pada persamaan (3.32) dan (3.33). Perhitungan LD dan MDC menggunakan rerata cacah latar radionuklida disetiap energi serta hasil efisiensi, yield dan massa terbesar agar didapatkan batas deteksi terkecil radionuklida tersebut. Data analisis

radionuklida sampel tanaman pangan di Kabupaten Mamuju dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 : Konsentrasi Radionuklida pada sampel tanaman pangan di Kabupaten Mamuju

No	Nuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/gr abu)		
		Takkandeang	Botteng	Binanga
1	Ac-228	$3,72 \pm 0,29$	$2,94 \pm 0,41$	$0,35 \pm 0,07$
2	Bi-212	$1,27 \pm 0,26$	$1,66 \pm 0,37$	$9,64 \pm 0,41$
3	Bi-214	$1,58 \pm 0,26$	$1,09 \pm 0,41$	ttd
4	Pb-212	$2,32 \pm 0,08$	$2,34 \pm 0,11$	$0,23 \pm 0,02$
5	Pb-214	$2,22 \pm 0,14$	$1,39 \pm 0,17$	$0,25 \pm 0,03$
6	Ra-226	$2,63 \pm 0,26$	$2,03 \pm 0,33$	$0,36 \pm 0,07$

Catatan : $MDC^{228}Ac = 0,06 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{214}Bi = 0,03 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{214}Pb = 0,03 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{212}Bi = 0,13 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{212}Pb = 0,03 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{226}Ra = 0,12 \text{ Bq/gr abu}$.

Pada Tabel 4.7 memperlihatkan aktivitas radionuklida pada sampel tanaman pangan di Kabupaten Mamuju. Aktivitas Radionuklida yang teridentifikasi pada sampel tanaman adalah Ac-228 dengan aktivitas $0,35 \text{ Bq/gr abu}$ – $3,72 \text{ Bq/gr abu}$, Bi-212 dengan aktivitas $1,27 \text{ Bq/gr abu}$ – $9,64 \text{ Bq/gr abu}$, Bi-214 dengan aktivitas ttd – $1,58 \text{ Bq/gr abu}$, Pb-212 dengan aktivitas $0,23 \text{ Bq/gr abu}$ – $2,34 \text{ Bq/gr abu}$, Pb-214 dengan aktivitas $0,25 \text{ Bq/gr abu}$ – $2,22 \text{ Bq/gr abu}$ dan Ra-226 dengan aktivitas $0,36 \text{ Bq/gr abu}$ – $2,63 \text{ Bq/gr abu}$. Aktivitas radionuklida pada Desa Takkandeang lebih tinggi dibanding desa lain. Hal ini, sesuai dengan pengukuran gross beta untuk sampel yang sama. Radionuklida yang teridentifikasi pada sampel tanaman

berasal dari deret peluruhan uranium (Pb-214, Bi-214 dan Ra-226) dan deret peluruhan thorium (Pb-212, Bi-212 dan Ac-228) yang berasal dari dalam tanah dan tidak terdapat radionuklida kosmogenik (H-3, Be-7, C-14 dan Na-22). Data aktivitas radionuklida pada Tabel 4.7 menunjukkan kandungan mineral uranium dan thorium pada tanaman di Kabupaten Mamuju.

Nuklida Ra-226 terdapat pada sampel tanaman di semua lokasi. Aktivitas Ra-226 pada sampel tanaman pangan lebih tinggi dibanding sampel air di Kabupaten Mamuju. Kemungkinan besar, hal ini disebabkan karena sampel tanaman pangan (ubi kayu) menyimpan mineral dan air pada umbi sebagai cadangan makanan sehingga radionuklida alam yang berasal dari tanah maupun air terakumulasi dalam tubuh tumbuhan. Peterson (1983), mengemukakan bahwa tanaman dapat menyerap radionuklida yang ada di dalam tanah atau di permukaan tanah melalui akar. Nuklida Ra-226 memiliki waktu paruh $1,6 \times 10^3$ tahun dan meluruh menjadi gas radon (Rn-222). Makin panjang waktu paruh suatu radionuklida dan makin banyak kejerahan (*Atomic Abundance*) di suatu lingkungan, maka potensi bahaya yang ditimbulkan ke lingkungan akan semakin tinggi (Susetyo dan Lahagu 1985, Cember, 1996). Radioaktivitas lingkungan, 87% disebabkan oleh sumber-sumber radiasi alam yang terdiri atas gas radon (51%), radiasi kosmik (10%), radiasi internal (12%), radiasi eksternal-gamma (14%) dan radiasi buatan (14%) (UNSCEAR, 1993).

Sebagai bahan perbandingan Tabel 4.8 menunjukkan aktivitas radionuklida tanaman di sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY).

Aktivitas radionuklida yang teridentifikasi pada sampel tanaman adalah Ac-228 dengan aktivitas 0,21 Bq/gr abu – 0,38 Bq/gr abu, Bi-212 dengan aktivitas ttd – 0,19 Bq/gr abu, Bi-214 dengan aktivitas ttd – 0,37 Bq/gr abu, Pb-212 dengan aktivitas 0,05 Bq/gr abu – 0,06 Bq/gr abu dan Pb-214 dengan aktivitas 0,25 Bq/gr abu – 2,22 Bq/gr abu

Tabel 4.8 : Konsentrasi Radionuklida pada sampel tanaman pangan di sekitar KNY

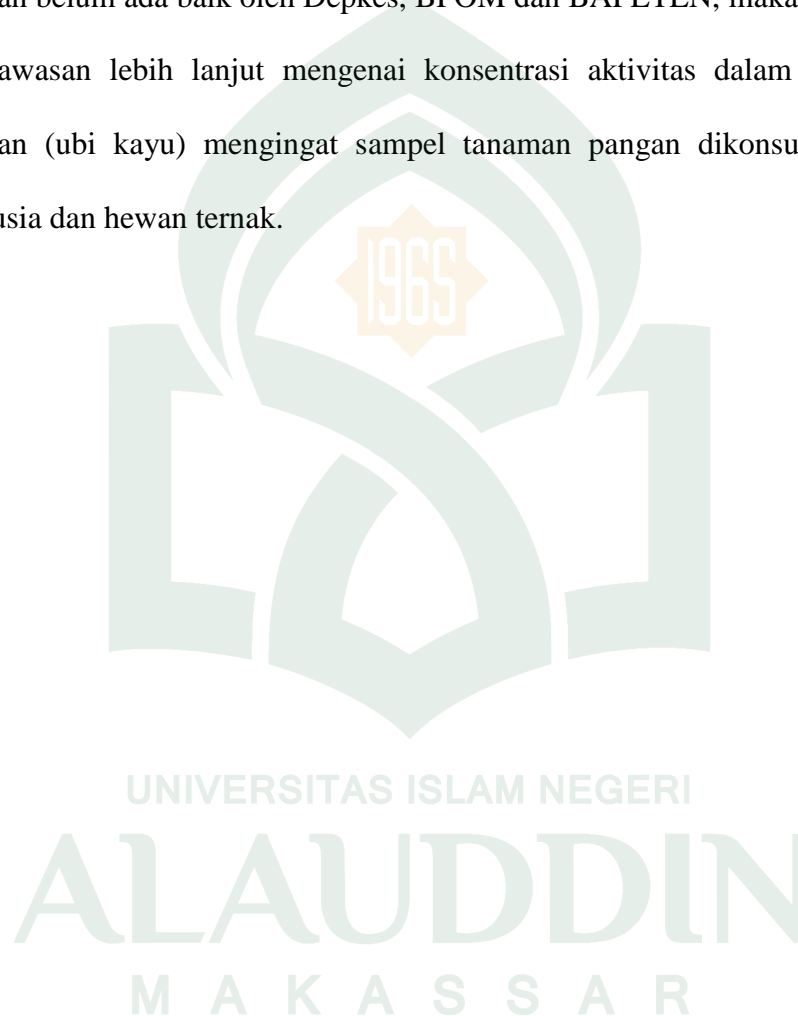
No	Nuklida	Konsentrasi aktivitas (Bq/gr abu)	
		Jl. Garundi (KNY-1)	Jl. Sembada (KNY-2)
1	AC-228	0,38 ± 0,09	0,21 ± 0,04
2	BI-212	Ttd	0,19 ± 0,05
3	BI-214	Ttd	0,37 ± 0,10
4	PB-212	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01
5	PB-214	0,17 ± 0,03	0,13 ± 0,02

Catatan : $MDC^{228}\text{Ac} = 0,05 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{214}\text{Bi} = 0,03 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{214}\text{Pb} = 0,03 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{212}\text{Bi} = 0,11 \text{ Bq/gr abu}$; $MDC^{212}\text{Pb} = 0,02 \text{ Bq/gr abu}$.

Aktivitas radionuklida pada sampel tanaman pangan (ubi kayu) di Kabupaten Mamuju lebih tinggi dibanding Daerah sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY). Hal ini mungkin disebabkan unsur radionuklida pemancar gamma lebih sedikit yang terakumulasi pada tanaman di sekitar KNY. Mortvedt (1994) menyatakan bahwa parameter tanah seperti pH, tekstur dan bahan organik dapat mengurangi keberadaan radionuklida di dalam tanah, sehingga radionuklida yang terserap oleh tanaman juga ikut

rendah. Selain itu kandungan radionuklida alamiah di suatu kawasan tergantung dari keadaan geologinya, diantaranya yaitu faktor batuan penyusun kerak bumi (Ahmad, 2006).

Ketentuan yang menjelaskan tentang radioaktivitas pada tanaman pangan belum ada baik oleh Depkes, BPOM dan BAPETEN, maka perlunya pengawasan lebih lanjut mengenai konsentrasi aktivitas dalam tanaman pangan (ubi kayu) mengingat sampel tanaman pangan dikonsumsi oleh manusia dan hewan ternak.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis Radioaktivitas beta total pada penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - a. Aktivitas beta total sampel air pada daerah Kabupaten Mamuju adalah 0,10 Bq/L – 0,67 Bq/L.
 - b. Aktivitas beta total sampel tanaman pada daerah Kabupaten Mamuju adalah 5,95 Bq/gr abu – 6,59 Bq/gr abu.
2. Analisis konsentrasi aktivitas Radionuklida pada penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - a. Aktivitas radionuklida pada sampel air di Kabupaten Mamuju adalah Ac-228 dengan aktivitas <MDC – 0,39 Bq/L, Bi-212 dengan aktivitas ttd - <MDC, Bi-214 dengan aktivitas 0,36 Bq/L – 2,01 Bq/L, Pb-212 dengan aktivitas ttd – 0,37 Bq/L, Pb-214 dengan aktivitas <MDC – 0,28 Bq/L dan Ra-226 dengan aktivitas ttd – 0,64 Bq/L.
 - b. Hasil pengukuran aktivitas radionuklida pada sampel air di Kabupaten Mamuju masih memenuhi syarat standar kualitas air karena masih berada dibawah batas yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN No.7 tahun 2017.

- c. Aktivitas radionuklida pada sampel tanaman pangan di Kabupaten Mamuju adalah Ac-228 dengan aktivitas 0,35 Bq/gr abu – 3,72 Bq/gr abu, Bi-212 dengan aktivitas 1,27 Bq/gr abu – 9,64 Bq/gr abu, Bi-214 dengan aktivitas ttd – 1,58 Bq/gr abu, Pb-212 dengan aktivitas 0,23 Bq/gr abu – 2,34 Bq/gr abu, Pb-214 dengan aktivitas 0,25 Bq/gr abu – 2,22 Bq/gr abu dan Ra-226 dengan aktivitas 0,36 Bq/gr abu – 2,63 Bq/gr abu.
3. Tingkat Radioaktivitas beta total di Kabupaten Mamuju dengan Daerah sekitar Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY) tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Untuk aktivitas radionuklida pemancar gamma pada sampel air dan tanaman pangan menunjukkan perbedaan yang signifikan di Kabupaten Mamuju dengan Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY).

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlunya variasi jenis tanaman pangan selain ubi kayu untuk mengetahui penyebaran zat radioaktif secara menyeluruh pada lingkungan.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk unsur Ra-226 pada sampel tanaman pangan di Kabupaten Mamuju.
3. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya dilakukan pengukuran aktivitas alfa untuk menghitung total aktivitas radioaktif alam pada sampel tanaman pangan dan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, M. Ghoffar, Abu ihsan Al-Atsari. 2013. *Tafsir Ibnu Katsir, Jilid 7*. Jakarta Timur : Pustaka Imam Syafi'i.
- Alfiyan, Moekhamad. 2016. *Tantangan Pengawasan Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) di Kabupaten Mamuju*. Jatinagor: BAPETEN.
- Agusts. *Geiger Muller*. 14 September 2018. [http : // agusts. blog. uns. ac. id/ 2011 /04/27](http://agusts.blog.uns.ac.id/2011/04/27).
- Carpenter. 1997. *Interaction Radionuclides with Sediment and Suspended Particels*. Training Course Series No.7 on Strategy and Methodologies for Applied Marine Radioactivities Studies. IAEA. Vienna
- Cember, H. 1996. *Introduction to Health Physics, 3th Ed*. McGraw-Hill. New York.
- Chu, T.C., dan J.J. Wang. 2000. *Radioactive Disquilibrium of Uranium and Thorium Nuclide Series in Hot Spring and River Water from Peitou Hot Spring Basin in Taipei. J. of Nuclear and Radiochemical sciences 1 (1) : 5-10*.
- Emlinarti, dkk. 1996. *Penentuan Konsentrasi Cs-137 Dan Sr-90 Dalam Tanaman Pangan Dari Beberapa Daerah Di Jawa Timur*. Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi-BATAN.
- Emlinarti dan Tutik Indiyati, dkk. 1998. *Konsentrasi Strontium-90 Pada Beberapa Jenis Sayuran Di Jawa Timur*. Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi-BATAN.

ETD UGM. *Bab 1 Pendahuluan*. 16 November 2017. etd. repository. ugm. ac. id./

S2-2015-356013-Chapter 1.Pdf/ 2015/ 07/ 17.

Fujinaga, E. 1979. *Minerals Elements in Commercial Teas-1 Macroelements*.
Anal. Chem. Acta. 110:75.

Iswadi. 2012. *Pendahuluan Fisika Inti*. Makassar: UIN Alauddin Press.

Komalasari, Dewi. *Teori Dasar Radioaktivitas Lingkungan di PSTNT Batan*. 25
September 2018. <http://www.Academia.edu/> TEORI_DASAR_
RADIOAKTIVITAS_LINGKUNGAN_DI_PSTNT_BATAN/ 2016/ 09/
05. Jogjakarta: BATAN.

Lof. P, 1987. *Periodic Table of The Elements Elsevier's Science Publisher B.V*.
Amsterdam.

Mortvedt, J.J. 1994. *Plant and Soil Relationships of Uranium and Thorium Decay
Series Radionuclides-a Review*. J. Environ. Qual. 31:155-162.

Peterson, H. T. 1983. *Terrestrial and Aquatic Food Chain Pathways*. In J.A.
Striker., E. A. Hanlon., R.L. West., D. B. Shibels., S. L. Summer, and
R.Umana. 1994. *Naturally Occuring Radionuclides In Tissue from Beef
Fed Phosphatic Caly-Grown Forages*. J. Environ. Qual. 23:667-670

PERKA BATAN Nomor 12. 2012. *Pedoman penyusunan dan pengendalian SOP*.
Jogjakarta: BATAN.

PERKA BAPETEN Nomor 02. 1999. *Baku tingkat Radioaktivitas di lingkungan*.
Jakarta: BAPETEN.

PERKA BAPETEN Nomor 07. 2017. *Nilai Batas Radioaktivitas di lingkungan.*

Jakarta: BAPETEN.

PUSDIKLAT BATAN. *Radiokimia Dasar*. 12 Oktober 2018. [http : // batan.go.id/radiokimia dasar. pdf/ 2015/ 09/ 18](http://batan.go.id/radiokimia%20dasar.pdf).

Siswanti dan A.Aris Munandar. 2013. *Pemantauan Radioaktivitas Beta Total Sampel Air Lingkungan Di Sekitar Reaktor Kartini Tahun 2011*. Yogyakarta: PTAPB-BATAN.

Standar BATAN SB-014 BATAN: 2013. *Analisis sampel Radioaktivitas lingkungan*. Yogyakarta: BATAN.

Strachnov, V. dkk. 1996. *Intercomparison run IAEA-373: Determination of Radionuclides in Grass sample IAEA-373*. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA).

Supriyanto, Amir. 2005. *Pengukuran Radioaktivitas dan Radiasi-Gamma lingkungan di Provinsi Lampung*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.

Sutarman dan syarbaini, dkk. 2010. *Pemantauan Lingkungan Untuk Keselamatan Radiasi Publik Di Indonesia*. Jakarta: BATAN.

Sutarman dan Leli Nirwani, dkk. 2005. *Penentuan Konsentrasi Gas Radon Dan Thoron Menggunakan Detektor Film Lr-115 Di Dki Dan Sekitarnya*. P3krbin: BATAN.

Suratman. 1997. *Pengukuran Radioaktivitas Beta*. Yogyakarta: BATAN.

- Suseno, H. 2001. *Interaksi Radionuklida dengan Sedimen dan Partikel Tersuspensi di Perairan Laut Teluk Naga*. Hasil penelitian Kegiatan P2PLR 2001. Jakarta : Batan.
- Susetyo, W., dan F. Lahagu. 1985. *Diklat Radiokimia*. Pusdiklat BATAN. Jogyakarta
- Susetyo, W. 1984. *Spektrometer Gamma*. Jogyakarta: Gadjadara University.
- Syamsir Ahmad, Arief. 2006. *Tingkat Radioaktivitas Radionuklida Primordial ^{238}U dan ^{232}Th di Lingkungan Tambang Batubara Terbuka*. Bogor : Institut Pertanian Bogor (IPB).
- Tenri Maya, Annisa, dkk. 2015. *Pengukuran Konsentrasi Gas Thoron Di Udara*. Jakarta: PTKMR-BATAN.
- Tri Purwanto, Agus dan Elin Nuraeni. 2013. *Optimasi Parameter Spektroskopi Gamma dengan Detektor HP-GE*. Jogyakarta: BATAN.
- Tri Rusmanto dan Agus Taftazani. 2007. *Penentuan Parameter Air Dan Radioaktivitas Alam Sampel Air, Sedimen Sungai Seropan Periode I, Semanu, Gunungkidul*. Yogyakarta: BATAN.
- (UNSCEAR) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1993. *Source and Effects of Ionizing Radiation*. New York.
- Wahyudi, Bambang. 2003. *Studi Tingkat Radioaktivitas Lingkungan Dan Epidemiologi Lingkungan Pada Area Pertambangan Timah Pulau*

Bangka Propinsi Kepulauan Bangka Belitung. Jakarta: Ka. Sub Dit Pengamanan Dampak Fisik & Radiasi, ditjen PPM & PL-Depkes.

Wahyuningsih, dkk. 2011. *Pengukuran Radioaktivitas Beta Total Pada Sampel Tanah Di Kawasan Reaktor Kartini Tahun 2010*. Yogyakarta: Batan.

Wardhana, Wisnu Arya. 2007. *Teknologi Nuklir Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi Offset.

Wikipedia. *Pencacah Geiger*. 14 September 2018. https://id.wikipedia.org/wiki/Pencacah_Geiger/2016/11/02.

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Keterangan Lampiran	Halaman
1.	Lampiran 1 :Perhitungan Gross	L1
2.	Lampiran 2 :Analisis Uji Signifikasi gross beta	L12
3.	Lampiran 3 :Perhitungan interval kepercayaan	L20
4.	Lampiran 4 :Hasil pengukuran gross beta	
	a. Tabel 1 : Hasil pengukuran aktivitas air di Kabupaten Mamuju	L21
	b. Tabel 2 : Hasil pengukuran aktivitas air di sekitar KNY	L21
	c. Tabel 3 : Hasil pengukuran aktivitas tanaman di Mamuju	L22
	d. Tabel 2 : Hasil pengukuran aktivitas tanaman di sekitar KNY	L22
5.	Lampiran 5 :Analisis uji signifikasi gross beta	
	a. Tabel 1 : Uji Signifikasi sampel tanaman di Kabupaten Mamuju	L23
	b. Tabel 2 : Uji Signifikasi sampel air di Kabupaten Mamuju	L24
6.	Lampiran 6 :Analisis Kuantitaif Radionuklida	L25
7.	Lampiran 7 :Kalibrasi Effisiensi Spektrometer Gamma	L28
8.	Lampiran 8 :Perhitungan LD dan MDC alat	L32
9.	Lampiran 9 :Analisis aktivitas Radionuklida	
	a. Tabel 1 : Aktivitas radionuklida sampel air di Takkandeang	L33
	b. Tabel 2 : Aktivitas radionuklida sampel air di Binanga	L33
	c. Tabel 3 : Aktivitas radionuklida sampel air di Botteng	L34
	d. Tabel 4 : Aktivitas radionuklida sampel tanaman di Takkandeang	L35
	e. Tabel 5 : Aktivitas radionuklida sampel tanaman di Botteng	L36
	f. Tabel 6 : Aktivitas radionuklida sampel tanaman di Binanga	L37

g. Tabel 7 : Aktivitas radionuklida sampel tanaman di KNY-1	L38
10. Lampiran 10 : Dokumentasi	L39
11. Lampiran 11 : Surat Izin Penelitian	L40
12. Lampiran 12 : Surat Kesediaan Membimbing Skripsi	L41
13. Lampiran 13 : SK Pembimbing	L43
14. Lampiran 14 : SK Seminar Proposal	L44
15. Lampiran 15 : SK Seminar Hasil	L45
16. Lampiran 16 : SK Komprehensif	L46
17. Lampiran 17 : SK Munaqasyah	L47



RIWAYAT HIDUP



Nama lengkap penulis adalah **A. Kautsar Syah K**, lahir pada tanggal 30 Desember 1996 di Kendari. Anak keempat dari lima bersaudara. Hobi penulis yaitu menggambar. Nama ibunya adalah **Astati K.** dan ayahnya bernama **Ir. Kamaluddin R, M.Si.** Alamat lengkapnya di Jl. Karya, Kel. Empoang, Kec.

Binamu, Kab. Jeneponto, Provinsi Sulawesi Selatan. Penulis pernah sekolah di SDN Inpres No.200 pada tahun 2001 sampai 2007, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 1 Binamu pada tahun 2008 sampai 2010 dan SMA Negeri 1 Binamu pada tahun 2011 sampai tahun 2013.

Setelah itu penulis melanjutkan perkuliahannya di Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi. Aktif di Himpunan Pelajar Mahasiswa Turatea (HPMT) angkatan 2014.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R